



POLITECNICO MILANO 1863

Scuola di Architettura Urbanistica Ingegneria delle Costruzioni

Laurea Magistrale in Ingegneria dei Sistemi Edilizi

**Implementazione delle attività di Cost Control e Construction Management
attraverso metodologie BIM:**

*per il raggiungimento dell'interoperabilità fra software di gestione nelle dimensioni
4D e 5D*

Relatore: Prof. Arch. Alberto Pavan

Tesi di Laurea Magistrale di:
Nunzia Carrino matricola n. 894037

Anno accademico 2018/2019

Indice dei contenuti

Abstract.....	I
Abstract (Eng)	II
Introduzione.....	1
1. Strumenti BIM di progettazione e modellazione parametrica	3
1.1. Cambiamento metodologico e usi del BIM.....	3
1.2. I vantaggi del BIM e i problemi che è in grado di risolvere	12
1.3. Supporto per la collaborazione del team di progetto.....	14
1.4. Livelli del BIM: oggetti LoD, LoG, LoI e LoIN	15
1.5. Le dimensioni del BIM.....	24
1.5.1. Modellazione tridimensionale 3D	25
1.5.2. Gestione temporale 4D.....	26
1.5.3. Gestione economica 5D	27
1.5.4. Ciclo di vita e manutenzione 6D	28
1.5.5. Sostenibilità 7D.....	29
2. Gestione delle informazioni nei modelli BIM	31
2.1. Industry Foundation Classes (IFC).....	31
2.2. Interoperabilità: problematiche e vantaggi applicativi	33
3. Pianificazione, programmazione e gestione dell'intervento.....	37
3.1. Il Project Management, cenni storici, definizioni e obiettivi.....	37
3.2. Pianificazione e programmazione, le basi del Project Management	42
3.3. Pianificazione tramite WBS.....	44
3.4. Gestione dei tempi e dei costi nelle tecniche di programmazione	45
3.5. Legami tra attività.....	60
3.6. Comunicazione/collaborazione tra le figure chiave dell'intervento	62

3.7.	Pianificare tramite BIM	63
3.8.	Programmare tramite BIM	64
4.	Introduzione al caso studio	65
4.1.	Progetto: Torre Richard	66
4.2.	Criticità del ciclo BIM non integrato.....	69
4.3.	Vantaggi del ciclo BIM integrato	70
4.4.	Modalità di gestione informativa economica (5D)	71
4.5.	Modalità di gestione informativa della programmazione temporale (4D)	87
5.	Confronto tra approcci: BIM e tradizionale.....	98
6.	Conclusioni	101
	BIBLIOGRAFIA	103
	SITOGRAFIA.....	104
	RIFERIMENTI NORMATIVI.....	105

Indice delle figure

Figura 1: Paragone tra processo ideale (BIM) e processo tradizionale: Curva di MacLeamy	5
Figura 2: Life Cycle Assessment (LCA) nel BIM – Simplex Design Studio	6
Figura 3: Triangolo di Bew-Richards (PAS 1192-3)	16
Figura 4: Fasi di maturità del BIM (ISO 19650-1:2018)	16
Figura 5: Esempio di Part.1 e Part.2 dei LOD - USA (UNI 11337:2017 – A.Pavan)	18
Figura 6: Livelli di Sviluppo – USA (BIMforum Specification 2019)	18
Figura 7: Level of Development (LOD) e Level of Information (LOI) – UK (UNI 11337:2017 – A.Pavan)	19
Figura 8: Livelli di Definizione – UK (PAS 1192-2. 2013).....	19
Figura 9: Livelli di Definizione ITA (UNI 11337:2017 – A.Pavan).....	21
Figura 10: Level of Information Need (UNI 11337:2017 – A.Pavan)	21
Figura 11: Schema di ristrutturazione dei LOD Italiani.....	23
Figura 12: Flusso di dati nel processo digitale attraverso i LOD degli oggetti	24
Figura 13: Le BIM dimensioni secondo le UNI 11337	25
Figura 14: Interoperabilità tra diversi software di diverse discipline attraverso lo standard IFC	32
Figura 15: Interoperabilità in BIM	34
Figura 16: Modelli 2d e 3d non coordinati – trasmissione file DXF, DWG, DOC, ecc.....	34
Figura 17: Il modello finale (3) integra tutte le informazioni (1) + (2).....	35
Figura 18: Il modello finale (3) contiene tutte le informazioni (1) + (2) in modo distinto.....	35
Figura 19: Integrazione Interoperabilità completa	36
Figura 20: Esempio di schema grafico di Work Breakdown Structure (WBS).....	44
Figura 21: Esempio di diagramma a barre - Gantt.....	47
Figura 22: Esempio di attività "A" o "Ij".....	48
Figura 23: Regola di dipendenza logica.....	49
Figura 24: Regola di convergenza	49
Figura 25: Esempio reticolo	53
Figura 26: Esempio reticolo finale.....	53
Figura 27: Esempio P.E.R.T.	57
Figura 28: Esempio reticolo PERT	57
Figura 29: Esempio finale reticolo PERT	58
Figura 30: Esempio di MPM.....	59
Figura 31: Legame Fine-Inizio	60
Figura 32: Legame Fine-Inizio.....	60

Figura 33: Legame Inizio-Inizio.....	61
Figura 34: Legame Inizio-Fine.....	61
Figura 35: Torri Richard.....	66
Figura 36: Torri Richard.....	67
Figura 37: Torri Richard.....	67
Figura 38: Rendering Torre Richard (BMS Progetti)	68
Figura 39: Computo Metrico Estimativo	73
Figura 40: Classificazione per funzioni (UNI 8290).....	74
Figura 41: Esempio livello delle lavorazioni	75
Figura 42: Struttura WBS (Primus)	76
Figura 43: Importazione WBS nel software ArchVision RP	77
Figura 44: Schema Prezzo Unitario	77
Figura 45: Nuovo Eleco Prezzi (Primus)	80
Figura 46: Campo di misurazione (ArchVISION-RP).....	82
Figura 47: Computazione in negativo di una porta (ArchVISION-RP)	83
Figura 48: Rigo di misurazione (ArchVISION-RP).....	84
Figura 49: Esempio Misurazione per Famiglia (ArchVISION-RP)	85
Figura 50: Computo metrico estimativo per Super Categorie.....	85
Figura 51: Computo metrico estimativo per Categorie.....	86
Figura 52: Computo metrico estimativo per Sub Categorie	86
Figura 53: Computo metrico estimativo per WBS.....	86
Figura 54: Vista 3D del progetto in Navisworks.....	88
Figura 55: Vista 3D del progetto in Navisworks.....	88
Figura 56: Programma Lavori inserito all'interno del Timeliner di Navisworks	89
Figura 57: Programma Lavori inserito all'interno del Timeliner di Navisworks	89
Figura 58: Programma Lavori inserito all'interno del Timeliner di Navisworks	89
Figura 59: Programma Lavori inserito all'interno del Timeliner di Navisworks	90
Figura 60: Programma Lavori inserito all'interno del Timeliner di Navisworks.....	90
Figura 61: Programma Lavori inserito all'interno del Timeliner di Navisworks	90
Figura 62: Simulazione 4D – Demolizioni (Navisworks).....	91
Figura 63: Simulazione 4D – Elevazioni Muri P1 (Navisworks).....	91
Figura 64: Simulazione 4D - Elevazione Pavimenti S1ed elevazione Muri P2,P9 (Navisworks).....	92
Figura 65: Simulazione 4D - Elevazione muri P3,P10 e montaggio serramenti P9 (Navisworks)	92

Figura 66: Simulazione 4D - Elevazione muri P4,P11 e montaggio serramenti P3,P10 (Navisworks) ...	93
Figura 67: Simulazione 4D – Elevazioni muri S1 e chiusura partizione orizzontale P1,P2 (Navisworks)	93
Figura 68: Simulazione 4D – Elevazioni muri P5,P11 e chiusura partizione orizzontale P9 e montaggio serramenti P4,P11 (Navisworks).....	94
Figura 69: Simulazione 4D – Elevazioni muri P12 (Navisworks).....	94
Figura 70: Simulazione 4D – Elevazioni muri P7,P14 e montaggio facciata continua S1,PT,P1 (Navisworks).....	95
Figura 71: Simulazione 4D – Elevazioni muri P8,P15 e montaggio facciata continua P3 (Navisworks)	95
Figura 72: Simulazione 4D – Elevazioni muri P17,P18 e montaggio facciata continua P4,P5,P6 (Navisworks).....	96
Figura 73: Simulazione 4D – Montaggio facciata continua P10;P12 e chiusura partizioni orizzontali P15 (Navisworks).....	96
Figura 74: Simulazione 4D – Montaggio facciata continua P13;P18 (Navisworks)	97
Figura 75: Simulazione 4D – Torre C ultimate (Navisworks)	97
Figura 76: Computazione in BIM (Primus).....	98
Figura 77: Computazione in Foglio di calcolo (Excel).....	99
Figura 78: Computazione in BIM (Primus).....	99

Indice delle tabelle

Tabella 1: Esempio analisi temporale	52
Tabella 2: Esempio Codice,Attività,Durate.....	52
Tabella 3: Esempio attività PERT	57
Tabella 4: Scomposizione del sistema costruttivo	73
Tabella 5: Prezzari BIM (UNI 11337-2-3 – A.Pavan).....	81

Abstract

L'introduzione di un sistema informatico di gestione delle informazioni BIM (Building Information Modeling) ha cambiato il modo di approcciarsi alla progettazione e alla successiva costruzione e gestione, passando da una rappresentazione vettoriale 2D a una rappresentazione geometrico-informativa che compone gli oggetti.

Il lavoro di tesi sviluppato mira ad analizzare ed approfondire le possibilità di sviluppo nella dimensione del 4D e 5D con un metodo "reiterabile" in progetti futuri, avente lo scopo di identificare e classificare ogni oggetto del modello BIM, con l'ulteriore obiettivo di gestire il flusso di informazioni e ridurre il margine di errore da parte dei vari attori presenti all'interno del processo edilizio.

La configurazione permetterà di migliorare l'interoperabilità e le potenzialità dei diversi software utilizzati nell'ambito del processo edilizio, riducendo al minimo le incertezze di progettazione e le scelte operative sin dalla fase preliminare del progetto, riuscendo così nell'obiettivo di ottimizzare le attività di Cost Control e Construction Management.

Analizzando la dimensione del 5D, lo scopo del computo metrico estimativo si traduce nel riuscire a far dialogare modello e prezzo in maniera automatizzata, in modo da avere uno strumento di controllo che governi l'associazione di un prezzo con il corretto elemento. Per far ciò, le informazioni devono essere facilmente trasferibili e possedere un linguaggio comune, al fine di identificare univocamente l'oggetto tra le diverse parti.

Si vedrà inoltre come, tramite l'utilizzo di tale struttura, sia possibile gestire un progetto in 4D avente un notevole numero di attività e di informazioni associate agli oggetti modellati, permettendo quindi un controllo estremamente approfondito ed evoluto del lavoro svolto e dando altresì la possibilità di poter gestire in maniera ottimale la futura fase realizzativa dell'opera.

Abstract (Eng)

The introduction of a computerised information management system, BIM (Building Information Modelling), has changed the approach design and subsequent construction and management phases. This solution allows moving from a 2D vector representation to a geometric reporting one, capable of composing objects.

This thesis analyzes and further elaborates on the possibilities of development in the dimension of 4D and 5D with a repeatable method adoptable by future projects.

In this thesis we will also identify and classify each object of the BIM model, and elaborate on how to manage the flow of information to reduce the margin of error by the various players in the building process.

The configuration will improve the interoperability and the capabilities of the different software used in the construction process, minimizing design uncertainties and operational choices from the preliminary stage of the project, optimizing the Cost Control and Construction Management processes.

Analyzing the dimension of the 5D, the purpose of the estimation is to be able to get the model and price list communicate automatically, to have a control tool that governs the association of a price with the correct element. To do this, the information must be easily transferable in a common language, in order to uniquely identify the object between the different parts.

We will also see how, through the use of this structure, it is possible to manage a 4D project with a large number of tasks and information associated with the modelled objects, thus allowing an extremely thorough and evolved control that will also give the possibility to optimally manage the implementation phase of the work.

Introduzione

Il crescente utilizzo del Building Information Modeling nel mondo delle costruzioni, oltre al miglioramento e all'ottimizzazione del processo edilizio come concepito in passato, ha portato con sé, come ogni innovazione, studi ed approfondimenti atti a risolvere ogni problematica derivante dalla stessa sua applicazione. Il BIM (Building Information Modeling) va inteso come una metodologia che consente di generare un modello digitale contenente tutte le informazioni sull'edificio, non solo relativa alla fase di progetto, ma all'intero ciclo di vita.

Obiettivo del lavoro di tesi svolto è quello di approfondire le potenzialità che questo metodo offre, nell'integrazione parametrica con il computo metrico estimativo, dimensione 5D e la gestione temporale, dimensione 4D. Nonostante le teorie riguardanti questa metodologia siano ben consolidate da diversi anni, il passaggio alle dimensioni successive alla terza (3D), risulta ancora in una fase embrionale. Infatti, mentre le tecnologie per lo sviluppo del BIM in terza dimensione sono collaudati e ad oggi possono vantare di diverse applicazioni nel mondo delle costruzioni, lo sviluppo di tecnologie che controllano gli iperspazi BIM superiori alla terza dimensione, risultano ancora in fase sperimentale. La causa principale di questa difficoltà sembra dovuta al fatto che i software che gestiscono la modellazione tridimensionale, non sono ancora in grado di gestire le successive dimensioni; quindi, diventa necessario integrare in queste ultime, una moltitudine di software, i quali di contro utilizzano diversi linguaggi di programmazione.

Questo lavoro di tesi indaga la quarta e quinta dimensione del BIM attraverso una sperimentazione su un progetto reale. Per le difficoltà sopra menzionate, e per i tempi ristretti di una commessa, il progetto in questione si era soffermato alla modellazione tridimensionale 3D. Il progetto di ricerca, avendo dei tempi più estesi, ha permesso di indagare e sperimentare delle soluzioni necessarie allo sviluppo di un processo "ripetibile" in progetti futuri, legato alle dimensioni del 4D e 5D.

Il BIM riesce ad agevolare e completare la fase di progettazione che impatta sulla programmazione avendo come processi di input il file .IFC e come output il computo metrico estimativo derivante dalla progettazione parametrica. Purtroppo gli abachi, con le informazioni non grafiche che vengono esportati dai vari software di progettazione da soli non bastano. Riuscire quindi ad importare uno o più file .IFC dello stesso modello federato, in un software che consenta poi di gestire, in fase di esecuzione, la pianificazione dei tempi e dei costi diventa di fondamentale importanza.

L'oggetto parametrico (architettonico, strutturale, impiantistico etc.) dovrà essere legato ad una lavorazione (da prezzario -> elenco prezzi -> Analisi dei costi) e a una stima dei tempi (Gantt, PERT) in maniera anch'essa parametrica.

Lo studio ha portato allo sviluppo di un sistema capace di identificare e associare automaticamente gli oggetti presenti nei software BIM con tutte le sorgenti in cui esso è legato. A livello di computazione si traduce nel riuscire a far dialogare modello e prezzario in maniera automatizzata e parametrica in modo da avere uno strumento di controllo che governi l'associazione di un prezzo con il corretto elemento. Per ciò che riguarda la programmazione lavori si ha una simulazione virtuale e un pieno controllo sulle fasi del cantiere.

Una volta compreso cosa è effettivamente il BIM, il processo di implementazione per realizzarlo diventa più chiaro. In genere, le persone considerano il BIM come un processo intelligente basato su modelli per pianificazione, progettazione, costruzione e gestione di opere. In realtà, per implementare il BIM è necessario che il team di lavoro venga preparato a considerare in modo diverso l'esecuzione dei progetti; non si lavorerà più con punti, linee, archi e forme che rappresentano oggetti, ma si creeranno e utilizzeranno invece modelli intelligenti. Si inizia definendo in che modo devono apparire questi oggetti e come devono comportarsi; quindi si mappa un processo che aiuterà tutti i soggetti coinvolti nel progetto a trarre vantaggio dalle informazioni contenute nel modello.

Partendo dal caso studio di un progetto edilizio reale (edifici di considerevoli dimensioni) realizzato in BIM, si è passati ad associare ogni oggetto rappresentato nel modello, con il relativo prezzo, arrivando ad un computo metrico estimativo a livello esecutivo e, definendone poi i tempi. Il grande vantaggio consiste nel legame diretto tra oggetti BIM e prezzario, permettendo un aggiornamento rapido ed istantaneo del computo; inoltre, grazie al riconoscimento della stessa configurazione in altri software, è possibile massimizzare i processi di automazione, riducendo drasticamente gli sviluppi manuali e quindi la possibilità di introdurre errori sin dalla fase preliminare, portando ingenti vantaggi nei tempi, nei costi ed in generale nella qualità globale del progetto.

1. Strumenti BIM di progettazione e modellazione parametrica

Questo capitolo fornisce una panoramica delle principali tecnologie che distinguono le applicazioni di progettazione BIM dai sistemi CAD di precedente generazione. La modellazione parametrica basata sugli oggetti è stata sviluppata in campo produttivo nel corso degli anni Ottanta. Tale metodologia non rappresenta gli oggetti con geometria e proprietà fisse, ma tramite parametri e regole che ne determinano la geometria, nonché le proprietà e le caratteristiche non geometriche. I parametri e le regole possono essere costituiti da espressioni che si relazionano ad altri oggetti, in modo da consentire un aggiornamento automatico controllato dall'utente o realizzato a fronte di variazioni del contesto. Grazie agli oggetti parametrici personalizzati è possibile modellare geometrie complesse, un'attività che in precedenza non era possibile o non era praticabile.

Pur essendo in grado di produrre disegni completi, le applicazioni BIM di disegno architettonico consentono di combinare oggetti modellati in 3D con sezioni disegnate in 2D e quindi di determinare il livello di dettaglio del modello 3D. Gli oggetti disegnati in 2D non sono comunque compresi negli elenchi dei materiali, nelle analisi e nelle altre applicazioni BIM. Le applicazioni di progettazione BIM a livello di fabbricazione, invece, rappresentano in genere tutti gli oggetti in 3D. Il livello di modellazione 3D è una variabile importante all'interno delle varie prassi BIM.

1.1. Cambiamento metodologico e usi del BIM

Risulta indispensabile al fine del lavoro di tesi, analizzare alcuni aspetti fondamentali a livello storico e tecnico del BIM.

Il mondo delle costruzioni, in tutte le sue parti, vede nella rappresentazione grafica un passaggio basilare per la definizione della qualità dell'opera. I primi disegnatori utilizzavano lapis e tecnigrafo su carta da disegno, per rappresentare tutte le fasi della progettazione.

Nel 1961, Ivan Sutherland, realizzò per la sua tesi al MIT di Boston, il primo prototipo di quello che poi sarebbe diventato il CAD. Con la sigla CAD s'intende Computer-Aided Drafting, cioè disegno assistito dall'elaboratore. Questo rappresenta un passaggio storico fondamentale nel mondo della grafica e in particolare l'utilizzo dei vettori per la rappresentazione 2D dell'immagine.

Ulteriore e fondamentale passaggio all'interno del CAD stesso è quello dell'evoluzione al disegno 3D, tramite cui la rappresentazione assume una configurazione volumetrica. Dalla sua ideazione negli anni 60', il CAD vede il suo vero sviluppo nell'edilizia come primo e maggiore strumento di disegno, solo con l'avvento del nuovo secolo. Uno sviluppo abbastanza lento condizionato dal parallelo sviluppo dell'informatica. L'utilizzo del CAD è un passaggio fondamentale per l'informatizzazione dell'attività di progettazione: l'elaborazione grafica è parte irrinunciabile del processo progettuale e proprio per questo il CAD si pone come strumento basilare per il progettista. Questa evoluzione trasforma completamente la percezione dell'immagine, intesa come semplice rappresentazione.

Dal momento in cui il sistema CAD, non sfrutta più la grafica vettoriale, ma inizia a lavorare in modalità parametrica e non viene più utilizzato semplicemente come strumento per la produzione di disegni, ma come centro di un sistema informativo integrato di progetto, dal quale trarre tutta la documentazione necessaria (tavole, computi metrici, schede tecniche, etc.), si parla di BIM. Quest'ultimo livello di evoluzione deriva dall'acronimo inglese di Building Information Modeling.

L'acronimo BIM, è il punto di partenza per ogni ragionamento che se ne può fare a riguardo. In primo luogo, è contenuto in esso la parola Building, quindi rappresenta una direzione ben precisa verso l'ambito delle costruzioni. La "I" indica principalmente il carattere informativo più che quello informatico del metodo. La lettera che più rappresenta l'innovazione è la "M", con cui si può intendere sia Modeling ma anche e soprattutto Management. Ragionando in questa direzione è opportuno definire un metodo di lavoro BIM&M per mettere in risalto l'aspetto non solo di modellazione ma anche di gestione dell'informazione. La principale funzionalità di questo "step" è rappresentata dalla possibilità di gestire ogni fase del processo edilizio, avendo sempre sotto mano tutte le informazioni che permettono di procedere per ottenere vantaggi in termini di qualità. Non più la grafica al centro della rappresentazione ma l'informazione alla base del processo.

In Figura 1 è riportata la curva di MacLeamy che mette in relazione la quantità di lavoro, in termini di tempo e costo, in relazione alle fasi del processo progettuale. Nella pratica tradizionale, nelle prime fasi solamente uno o pochi studi progettuali sono coinvolti. Mano a mano che si procede la quantità di lavoro aumenta, fino ad arrivare ad un massimo in corrispondenza nella produzione della documentazione. Il BIM permette di velocizzare l'attività di produzione dei documenti, spostando il picco di quantità di lavoro nelle prime fasi progettuali. Questo accade perché tutte le varie discipline collaborano all'inizio del processo per prendere le decisioni in modo condiviso. Le curve 1 e 2 mostrano rispettivamente la capacità delle decisioni progettuali di influire sui costi e sulle funzionalità del progetto e il costo delle variazioni progettuali in funzione del tempo.

Il vantaggio del BIM è proprio il fatto che le decisioni progettuali sono prese all'inizio, tenendo conto della molteplicità di fattori che influenzano il progetto e quindi non ci sono variazioni sostanziali nelle fasi successive, che farebbero lievitare i costi.

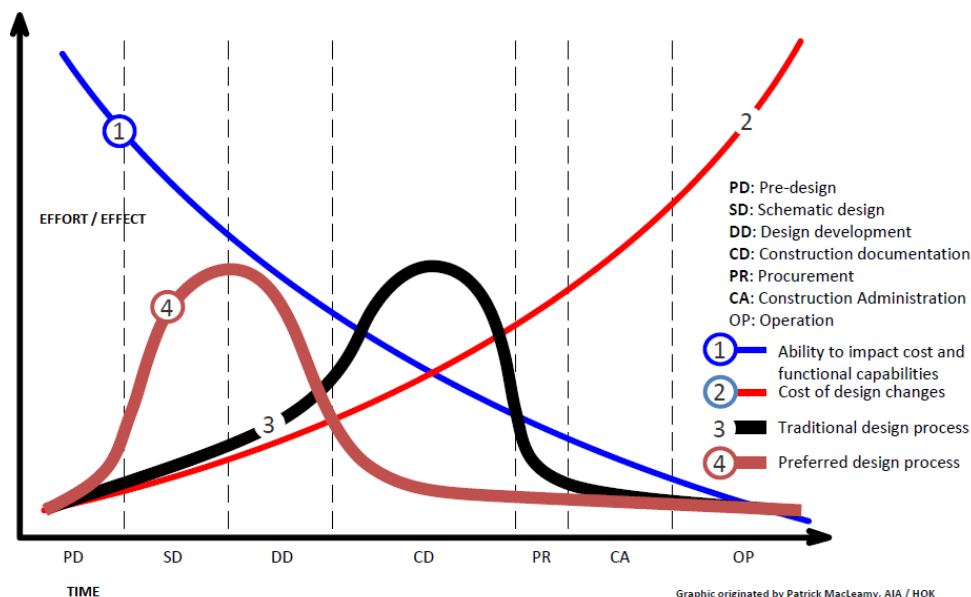


Figura 1: Paragone tra processo ideale (BIM) e processo tradizionale: Curva di MacLeamy

<http://www.bis-lab.eu/2017/02/28/bim-building-information-modeling-i-principi-di-una-rivoluzione/>

Un'applicazione BIM, diversamente da un CAD generico, è ottimizzata nella progettazione di edifici, attraverso l'utilizzo di oggetti 3D, definiti intelligenti poiché in grado di stabilire delle relazioni con gli altri componenti del progetto. Il modello BIM 3D è un prototipo digitale del manufatto, dal quale è possibile estrarre tutte le informazioni per lo sviluppo dei documenti necessari durante le fasi progettuali e di gestione.

Nello sviluppo odierno di questo strumento si può parlare di "Little-BIM" e "Big-BIM". Con la prima accezione si definisce la possibilità, purtroppo molto diffusa, di utilizzare i software BIM oriented nel piccolo, senza sfruttare al massimo le loro potenzialità, per velocizzare il disegno e il proprio lavoro. Il "Big-BIM" invece rappresenta il massimo dell'espressione di questo metodo di lavoro, dove ad utilizzare lo strumento sono tutti gli attori del processo, dai progettisti, al direttore dei lavori per arrivare al manutentore. In particolar modo, quest'ultimo concetto è assimilabile a quello di progettazione integrata, dove i vari attori devono collaborare tra loro generando e gestendo i dati, utili al ciclo di vita dell'edificio, per raggiungere l'obiettivo della qualità.

Alla base di questi discorsi, si palesa quanto, al momento, sia ancora molta la strada da percorrere, sebbene si stia lavorando tanto in questa direzione e con continui successi per raggiungere questi obiettivi. Uno dei principali problemi che si possono riscontrare ad oggi è che gli attori, parte imprescindibile del processo, non possiedono ancora la piena conoscenza dei software e soprattutto del metodo di lavoro BIM&M.

Un secondo e altrettanto fondamentale problema è rappresentato dalla grande quantità di software presente sul mercato. Quest'ultima considerazione è da valutare attentamente in quanto l'esistenza di una varietà di programmi BIM oriented non è assolutamente uno svantaggio, anzi ne risulta una competitività tra le varie software-house con un conseguente sviluppo continuo delle potenzialità dei programmi. Allo stesso tempo però si palesa un problema non banale che merita ulteriore approfondimento, quello dell'interoperabilità, tema che sarà affrontato nel capitolo successivo.

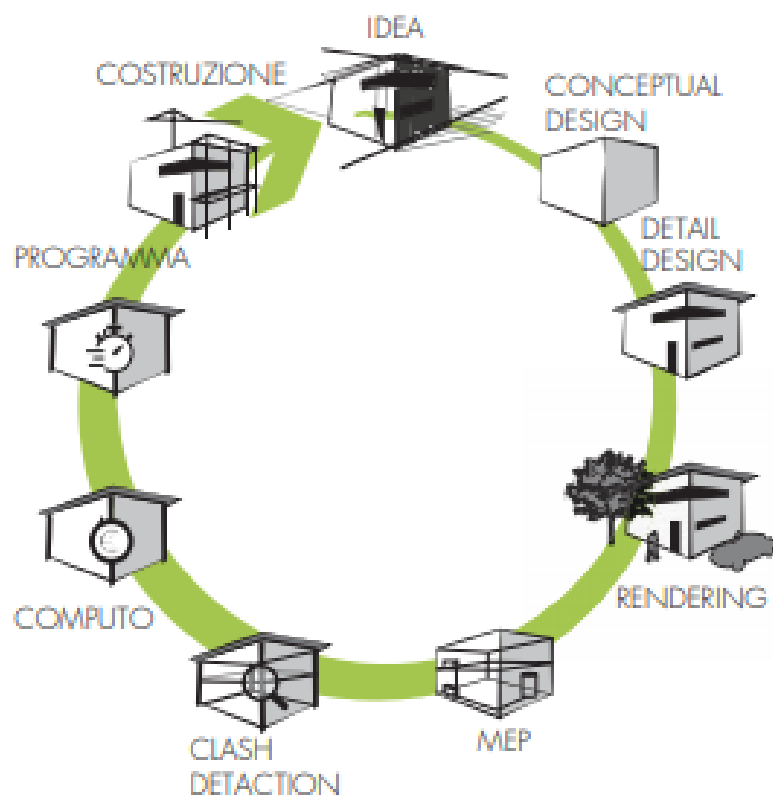


Figura 2: Life Cycle Assessment (LCA) nel BIM – Simplex Design Studio

Come si può osservare dalla figura sopra riportata, le possibilità della tecnologia BIM vanno molto al di là della semplice progettazione, ma consentono di inglobare anche le fasi di pianificazione e programmazione dell'intervento edilizio, in modo tale da trattare nel complesso la fase di processo edilizio decisionale lungo tutta la vita dell'edificio.

Il BIM facilita la collaborazione tra le varie figure che prendono parte al progetto riducendo gli errori e le modifiche in corso d'opera e rende più affidabile il processo di consegna diminuendo i costi di progettazione e i tempi di consegna. Le figure che prendono parte al progetto sono: il committente, i progettisti, l'impresa appaltatrice e gli eventuali subappaltatori. Viene di seguito analizzato l'utilizzo della metodologia BIM per le varie figure sopra elencate.

Il committente può ottenere vantaggi significativi grazie alla metodologia e agli strumenti BIM che permettono di velocizzare la costruzione di edifici garantendo una qualità elevata con prestazioni ottime. Il committente può utilizzarlo per:

- Incrementare le prestazioni dell'edificio attraverso simulazioni e analisi che permettono di ottimizzare le prestazioni complessive dell'edificio;
- Ridurre il rischio finanziario attraverso stime più attendibili e realizzate in tempi nettamente brevi;
- Ridurre i tempi di realizzazione del progetto;
- Ottenere preventivi di spesa precisi e affidabili attraverso il controllo delle quantità che vengono generate in automatico;
- Assicurare la conformità del progetto ai requisiti dei regolamenti locali e alle specifiche del committente;
- Ottimizzare la gestione e la manutenzione della struttura.

Il committente, nella maggior parte dei casi, non si è reso ancora conto dei benefici associati all'utilizzo di tale metodologia, poiché questo comporta anche delle modifiche sostanziali nel linguaggio utilizzato nei contratti e nei requisiti di progetti. La metodologia BIM favorisce un approccio di tipo collaborativo piuttosto che conflittuale e tale collaborazione tra i vari team favorisce il committente. Nella tradizionale progettazione 2D le attività sono eseguite spesso senza molta comunicazione tra le figure chiave del progetto, indipendentemente dalle informazioni e questo causa, il più delle volte, ridondanze e incoerenze nei dati, comportando un aumento di errori.

Con il processo basato sul BIM il committente può realizzare un ROI (Return On Investment) più elevato grazie ad una migliore integrazione delle informazioni, permettendo al team di lavorare in condizioni di migliore efficienza così che i committenti possano raccogliere i frutti in termini di qualità, costi e messa in servizio della struttura. È quindi fondamentale che i committenti comprendano che le applicazioni BIM possono offrire vantaggi competitivi, permettere un'organizzazione più efficiente in base alle richieste di mercato e produrre un miglior ritorno del capitale utilizzato. Le motivazioni che portano all'utilizzo della metodologia BIM sono:

- Valutazione della progettazione: in ogni fase devono essere in grado di gestire e valutare la portata del progetto, in fase di concept design è spesso necessario condurre un'analisi spaziale e successivamente altre indagini per valutare se il progetto soddisferà le richieste prefissate. Attualmente questa fase è molto manuale e viene gestita da progettisti i quali illustrano il progetto attraverso disegni, rendering;
- Complessità delle infrastrutture e dell'ambiente di costruzione: gli edifici e le infrastrutture moderne sono molto complesse a livello fisico-infrastrutturale per quanto riguarda gli aspetti organizzativi, finanziari e giuridici utilizzati in fase di realizzazione. Gli strumenti e le procedure BIM possono supportare in vario modo i committenti nel coordinamento dei processi normativi e nella complessità crescente degli edifici;
- Sostenibilità: la tendenza agli edifici green sta convincendo molti committenti a riflettere sull'efficienza energetica e sull'impatto ambientale dei progetti. I modelli BIM producono notevoli vantaggi dalla prospettiva dei committenti, come ridurre il consumo di energia grazie alle analisi energetiche e migliorare la produttività operativa con gli strumenti di creazione del modello e di simulazione;
- Affidabilità dei costi e management: i committenti si trovano spesso di fronte ad uno sfioramento dei costi o alla presenza di spese impreviste che li costringono a superare il budget o annullare il progetto. Per mitigare il rischio di superamento dei costi e di elaborare stime inaffidabili i committenti aggiungono quote extra alle stime oppure aggiungono un budget stanziato per far fronte alle incertezze durante la costruzione. La natura del BIM, precisa e calcolabile, fornisce ai committenti una fonte più affidabile per effettuare computi metrici ed estimativi e fornisce un rapido feedback sul costo delle modifiche di progetto. Si tratta di un aspetto importante perché la capacità di influire sul costo è più alta all'inizio del processo come evidenziato dalla figura sottostante;

- Tempo di vendita e gestione del programma: il BIM fornisce ai committenti e ai team di progetto strumenti per automatizzare parzialmente la progettazione fornendo ai committenti una molteplicità di azioni per rispondere alle esigenze di mercato;
- Gestione della struttura e delle informazioni sulle risorse: allo stato attuale le informazioni sono generate durante ogni fase della progettazione e al termine della maggior parte dei cantieri il valore di queste informazioni si riduce perché in genere non vengono aggiornate per rispecchiare le condizioni as-built. Questo permette ai committenti di poter gestire in maniera ottimale il progetto anche durante la fase di collaudo e fruizione del bene.

La progettazione è l'attività con cui si definiscono la maggior parte delle informazioni relative ad un progetto. Grazie alle capacità di automatizzare la modalità di rappresentazione dei dettagli, il BIM riduce la quantità di tempo necessaria per la produzione dei documenti richiesti nella fase costruttiva. La metodologia corrente prevede la suddivisione del progetto in varie fasi, all'interno delle quali vengono realizzati vari documenti tecnici. Questo procedimento, suddiviso in più fasi, è inefficiente in termini di tempo e costi e ha aumentato il numero dei contenziosi nella fase costruttiva. Il potenziale contenzioso riduce la comunicazione e la collaborazione tra le varie figure, generando quindi errori nella fase di progettazione che sfociano, nella fase di costruzione, in varianti di progetto onerose. Con la metodologia IPD (Integrated Project Delivery) il committente, il progettista, l'appaltatore e i fornitori entrano a far parte di un unico contratto di collaborazione. Dal punto di vista dei progettisti si vuole analizzare l'utilizzo e i vantaggi del BIM su tre punti di vista, che si applicano in misura variabile a diversi progetti.

Il primo punto di vista riguarda il concept design in cui viene determinata la struttura di base del progetto da sviluppare nelle fasi successive, in termini di volumetria, struttura, layout spaziale generale, approccio alle condizioni ambientali e di contesto e di relazioni con il sito. Un secondo punto di vista affronta l'uso del BIM per la progettazione e l'analisi dei sistemi dell'edificio. Per analisi si intendono le operazioni in grado di quantificare le variazioni dei parametri fisici che si possono attendere nell'edificio reale. A tale scopo è necessaria la collaborazione tra le varie competenze coinvolte supportate dall'integrazione dei software di analisi. Il terzo punto di vista riguarda l'utilizzo del BIM nello sviluppo di informazioni a livello di costruzione, andando a velocizzare il processo e migliorarne la qualità. Il prodotto principale di questa fase è costituito dai documenti di cantiere, mentre in un futuro il modello di edificio servirà come base giuridica per le pratiche edilizie. Questo punto riguarda la progettazione e l'integrazione con la costruzione.

L'obiettivo è quello di passare da una rappresentazione, se pur digitale, in 2D ad un modello di edificio ottenendo numerosi vantaggi, come disegni automatici e coerenti, individuazione e rimozione di conflitti spaziali in 3D, preparazione automatica e precisa delle distinte, supporto automatizzato per l'applicazione di analisi e costi. Questo comporta alla realizzazione di elaborati grafici di progetto più accurati, ad accelerare la produzione, a migliorare la qualità e la produttività. Un modello preciso risulta conveniente anche per l'appaltatore in quanto migliora e velocizza il processo di pianificazione della costruzione, permettendo quindi di risparmiare tempo e denaro, riduce i possibili errori e conflitti. L'approccio tradizionale limita le capacità dell'impresa appaltatrice di contribuire con le proprie competenze durante la fase di progettazione, negando la possibilità di portare un contributo significativo durante la progettazione. Mentre con l'utilizzo della metodologia BIM, come strumento di collaborazione, risulta ottimale per la collaborazione tra impresa appaltatrice e progettisti. Il livello di dettaglio delle informazioni incluse varia in base all'ambito di applicazione e uso.

Per esempio, per una stima dei costi accurata con la tecnologia 5D, il modello deve essere sufficientemente dettagliato da indicare le quantità di materiali necessarie per la valutazione dei costi. Per l'analisi della programmazione dei lavori con tecnologia 4D è invece necessario un modello meno dettagliato, ma nel quale devono essere inclusi, oltre alle attività necessarie per la realizzazione dell'opera, anche le opere provvisorie e la descrizione delle fasi costruttive. Uno dei vantaggi più significativi per l'appaltatore deriva dal coordinamento efficace che si ottiene quando tutti i subappaltatori usano il modello dell'edificio per descrivere in dettaglio la loro quota di attività. In questo modo è possibile individuare i conflitti spaziali e di uso delle attrezzature comuni e risolverli prima che si trasformino in problemi sul cantiere. Tra le aree di interesse dell'applicazione BIM per le imprese appaltatrici troviamo le seguenti:

- Analisi della Cantierabilità e Clash Detection;
- Determinazione delle quantità e computo metrico estimativo;
- Analisi della costruzione e della programmazione di primo livello;
- Integrazione dei costi e dei tempi e altre funzioni gestionali;
- Produzione di componenti fuori cantiere;
- Verifica, assistenza, monitoraggio delle attività di costruzione;
- Collaudi e consegna dell'edificio.

A questi aspetti vanno aggiunte modifiche contrattuali e organizzative che sono indispensabili per sfruttare appieno i benefici offerti BIM. Con l'utilizzo degli strumenti BIM i progettisti hanno la possibilità di fornire modelli con largo anticipo, già nella fase di aggiudicazione. Questi modelli possono essere utilizzati dagli appaltatori per la computazione, per le operazioni di coordinamento, la pianificazione delle costruzioni, la prefabbricazione, l'approvvigionamento dei materiali e per altre funzioni. Per consentire queste opportunità il modello fornito all'appaltatore deve contenere le seguenti informazioni:

- Informazioni dettagliate dell'edificio per consentire l'estrapolazione di informazioni sulle quantità e sulle proprietà dei componenti;
- Opere provvisoriale e temporanee: opere provvisoriale fondamentali per la suddivisione in fasi costruttive;
- Informazioni specifiche associate a ciascun componente dell'edificio: informazioni necessarie per l'approvvigionamento dei materiali;
- Analisi dei dati relativi ai livelli di prestazione e ai dati di progetto;
- Stato di progetto e costruzione.

La pianificazione e la programmazione edilizia coinvolgono una serie di attività collocate in un preciso contesto spazio-temporale, che include l'approvvigionamento, le risorse, i vincoli spaziali e altri aspetti del processo. I programmi odierni che utilizzano la metodologia del CPM consentono di creare il progetto, aggiornarlo, mostrare le correlazioni tra le attività e calcolare non soltanto il percorso critico ma anche gli slittamenti per poter migliorare la programmazione. La programmazione rimane quindi un'impegnativa attività manuale che spesso non risulta sincronizzata con il modello e rende difficile comprenderne il suo impatto sulla logistica di cantiere. Per cercare di risolvere il problema vengono utilizzati strumenti di analisi che integrano componenti BIM e informazioni sul metodo di costruzione, utilizzando quindi modelli 4D per la simulazione virtuale del progetto.

Le simulazioni 4D servono prevalentemente come strumento per il rilevamento di potenziali intoppi e come metodo per promuovere la collaborazione garantendo quindi la massima efficienza. I principali vantaggi offerti dai modelli 4D sono:

- Comunicazione: i responsabili della pianificazione possono comunicare in formato grafico a tutti i soggetti coinvolti il processo di costruzione previsto;
- Logistica di cantiere: i responsabili della pianificazione possono gestire le aree di stoccaggio, l'accesso al cantiere, il posizionamento delle grandi attrezzature, i trasporti e così via;

- Coordinamento delle forniture: i responsabili della pianificazione possono coordinare il tempo e lo spazio previsto per il carico/scarico in cantiere;
- Confronto della programmazione con lo stato di avanzamento dei lavori.

La simulazione 4D, se usata correttamente, porta ottimi benefici in termini di costo e di tempo, riducendo sempre meno gli errori e garantendo una gestione migliore del progetto da parte dell'appaltatore. La metodologia BIM è un work in progress, non appena progredirà il suo sviluppo e il suo utilizzo sarà sempre più diffuso, diventerà più evidente l'entità del suo impatto sulle modalità di costruzione degli edifici.

Nel futuro immediato si vedrà un'adozione del BIM molto più estesa comportando una maggiore flessibilità e varietà nei metodi costruttivi, un minor numero di documenti, molti meno errori e una maggiore produttività. I progetti di costruzione risponderanno meglio alle esigenze dei clienti grazie ad analisi accurate, meno contenziosi, minori costi e minori sforamenti del programma. Il quadro generale è che il BIM facilita l'integrazione precoce tra i team di progettazione e costruzione, rendendo possibile una più stretta collaborazione. Ciò contribuirà a rendere il processo di costruzione più veloce e affidabile, meno costoso e soggetto a errori e rischi.

1.2. I vantaggi del BIM e i problemi che è in grado di risolvere

La metodologia BIM è in grado di supportare e migliorare molti processi operativi. Anche se l'utilizzo del BIM nel settore dell'architettura, dell'ingegneria e delle costruzioni (AEC) e del Facility Management (FM) è ancora agli inizi, sono già stati raggiunti miglioramenti significativi rispetto al CAD 2D tradizionale o alle prassi basate su documenti cartacei. Il ruolo essenziale della metodologia BIM e due processi associati è caratterizzato dalla modalità con cui il processo di progettazione e costruzione edile è in grado di rispondere alle crescenti pressioni del settore, correlate a una maggiore complessità, a uno sviluppo accelerato, a una migliore sostenibilità e a una riduzione del costo della costruzione e del suo utilizzo successivo. Le procedure tradizionali non sono in grado di rispondere a queste esigenze.

Il modello 3D sarà privo di errori di geometria, allineamento e coordinamento spaziale se gli oggetti utilizzati nel progetto sono controllati da regole parametriche che assicurano un corretto posizionamento. In questo modo si riduce la necessità di gestire le modifiche di progetto. Inoltre è possibile estrarre disegni accurati e coerenti per qualsiasi insieme di oggetti o per una vista specifica del progetto. In questo modo si riduce significativamente la quantità di tempo e il numero di errori associati alla generazione di disegno costruttivi per tutte le discipline progettuali. La metodologia BIM facilita il lavoro simultaneo da parte di più discipline progettuali in cui è possibile gestire con efficienza il controllo delle modifiche. Così facendo si forniscono informazioni tempestive sui problemi di progettazione e si offre quindi la possibilità di apportare continue migliorie a un lavoro. Si tratta di una strategia molto più conveniente rispetto a quella che prevede di attendere fino a quando un progetto è quasi completo e di applicare l'analisi del valore solo dopo che le principali decisioni in merito sono state prese.

Il BIM fornisce visualizzazioni 3D più tempestive e calcola spazi e quantità dei materiali, così da permettere una stima più precisa dei costi. In ogni istante della fase di progettazione la tecnologia BIM può estrarre calcoli precisi delle quantità e degli spazi che si possono utilizzare per la stima dei costi. All'inizio, le stime dei costi si basano su formule collegate a quantità parametriche significative, oppure su costi unitari per metro quadrato. Con l'avanzamento del progetto diventano disponibili quantità più dettagliate che si possono utilizzare per elaborare stime più precise sui costi. È possibile tenere al corrente tutte le parti interessate delle implicazioni correlate ai costi e associare a un dato progetto ancor prima che lo stesso giunga ai livelli di dettaglio richiesto dalla gara di appalto. Nella fase finale di progettazione si utilizza una stima basata sulle quantità per tutti gli oggetti contenuti nel modello. Per concludere, usando il BIM al posto di un sistema cartaceo, per quanto riguarda i costi è possibile prendere decisioni più consapevoli in fase di progettazione. In tal caso è preferibile includere nel team di progetto un appaltatore generale (General Contractor) e possibilmente i principali subappaltatori, che sarebbero responsabili della costruzione della struttura.

Le conoscenze possedute da tali soggetti sono infatti indispensabili per procedere a una stima precisa dei costi e per approfondire gli aspetti correlati alla cantierabilità durante il processo di progettazione. La pianificazione della costruzione con il 4D richiede il collegamento di un cronoprogramma agli oggetti 3D di un progetto, in modo che sia possibile simulare il processo di costruzione e mostrare come sarà il cantiere in ogni sua fase temporale. Questa simulazione grafica consente di comprendere in modo più intuitivo la progressiva costruzione dell'edificio e mette in luce i potenziali problemi, sia le opportunità di miglioramento (spazi, squadre operative e attrezzature, contemporaneità, problemi

di sicurezza e così via). Non è possibile effettuare questo tipo di analisi avendo a disposizione solo documenti cartacei. Inoltre, il sistema BIM risulta ancora più vantaggioso se il modello include gli oggetti delle opere provvisoriale, per esempio i sistemi di cassatura, i ponteggi, le gru e altre attrezzature, e li collega ad attività programmate in modo che si riflettano nel piano di costruzione desiderato. Il modello di costruzione completo prevede quantitativi accurati per tutti i materiali e gli oggetti contenuti in un progetto. Le quantità, le specifiche e le proprietà riportate si possono utilizzare per acquistare i materiali dai fornitori e dai subappaltatori.

L'uso del BIM favorirà un'integrazione delle conoscenze costruttive nelle prime fasi del processo di progettazione. Le imprese che sono in grado di coordinare le conoscenze relative a tutte le fasi di progettazione e costruzione otterranno grandi vantaggi. Il cambiamento più significativo che le aziende devono affrontare durante l'implementazione della tecnologia BIM è il cambiamento dell'approccio di base ai processi di lavoro e di collaborazione, ossia l'uso intensivo di un modello di edificio condiviso durante le fasi di progettazione e di un insieme coordinato di modelli di edifici durante la costruzione e la fabbricazione. Come avviene per ogni cambiamento significativo dei processi del lavoro e della tecnologia, questa trasformazione richiederà tempo e attività formative.

1.3. Supporto per la collaborazione del team di progetto

La progettazione e la costruzione di un edificio sono attività complesse. Sempre più spesso ogni attività viene supportata e arricchita da programmi informatici specifici. Il fatto è che si è passati dalla modellazione di forme e geometrie alla modellazione di oggetti, dapprima generici e astratti, quindi corrispondenti ai prodotti reali o utilizzati come istruzioni per la costruzione. Se la geometria ha costituito l'ambito di interesse principale per i sistemi non vettoriali e CAD, con il BIM vengono rappresentati tipi diversi di geometrie, relazioni, attributi e proprietà per comportamenti differenti.

Il modello, sebbene integrato, deve includere un numero maggiore di informazioni rispetto ai file CAD. si tratta di un cambiamento importante, per il quale l'implementazione delle modalità di supporto delle informazioni tecnologiche e degli standard necessari per conseguirle avviene in via progressiva.

Grazie alle interfacce aperte dovrebbe essere possibile importare i dati più pertinenti per la creazione e la modifica di un progetto ed eseguirne l'esportazione in vari formati (per supportare l'integrazione con altre applicazioni e flussi di lavoro).

A tale scopo esistono due approcci principali:

- Utilizzare prodotti dello stesso fornitore di software
- Utilizzare software di vari fornitori in grado di scambiare dati mediante gli standard supportati dal settore.

Con il primo approccio si ottiene, a livelli diversi, un'integrazione semplificata e più efficiente tra i vari prodotti. Per esempio, le modifiche al modello architettonico determinano modifiche al modello degli impianti meccanici e viceversa. In tal caso è tuttavia necessario che tutti i membri del team di progetto utilizzino gli stessi software forniti da un unico produttore.

Il secondo approccio utilizza sia software proprietari sia software *open source* (disponibili al pubblico e basati sugli standard supportati) per definire oggetti edilizi (Industry Foundation Classes, IFC). Tali standard possono prevedere un meccanismo di interoperabilità tra le varie applicazioni con diversi formati interni. Questo approccio offre maggiore flessibilità a scapito dell'interoperabilità che può risultare ridotta soprattutto se i vari programmi software utilizzati per un determinato progetto non supportano (o supportano solo in parte, con perdita di dati) gli stessi standard di interscambio. In tal modo è possibile esportare gli oggetti BIM da un'applicazione e importarli in un'altra.

1.4. Livelli del BIM: oggetti LoD, LoG, LoI e LoIN

Lo scambio di informazioni, geometriche e non, è uno dei punti cardine di ogni processo BIM. Il passaggio alla collaborazione completa necessita di una graduale transizione indentificata dai livelli del BIM, a seconda dell'intensità di scambio delle informazioni tra gli attori del processo. Il concetto dei livelli di Maturità del BIM, viene schematizzato attraverso il triangolo di Bew – Richards (PAS 1192).

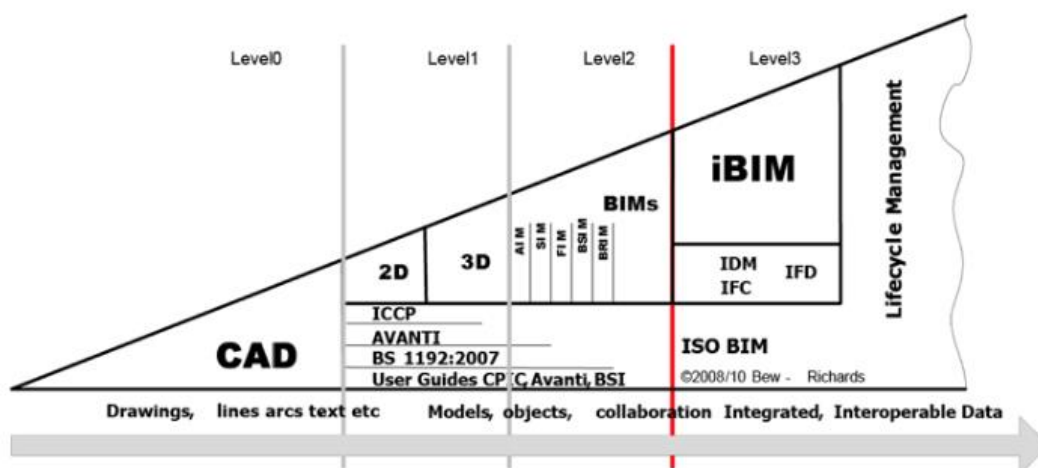


Figura 3: Triangolo di Bew-Richards (PAS 1192-3)

<http://www.bis-lab.eu/2017/04/23/the-road-to-ibim-il-bim-nel-regno-unito/>

La ISO 19650, ripropongono, aggiornandolo, il concetto di Maturità del BIM. Progredendo nelle fasi, assistiamo a una sempre maggiore integrazione dei dati sia a livello tecnologico che informativo.

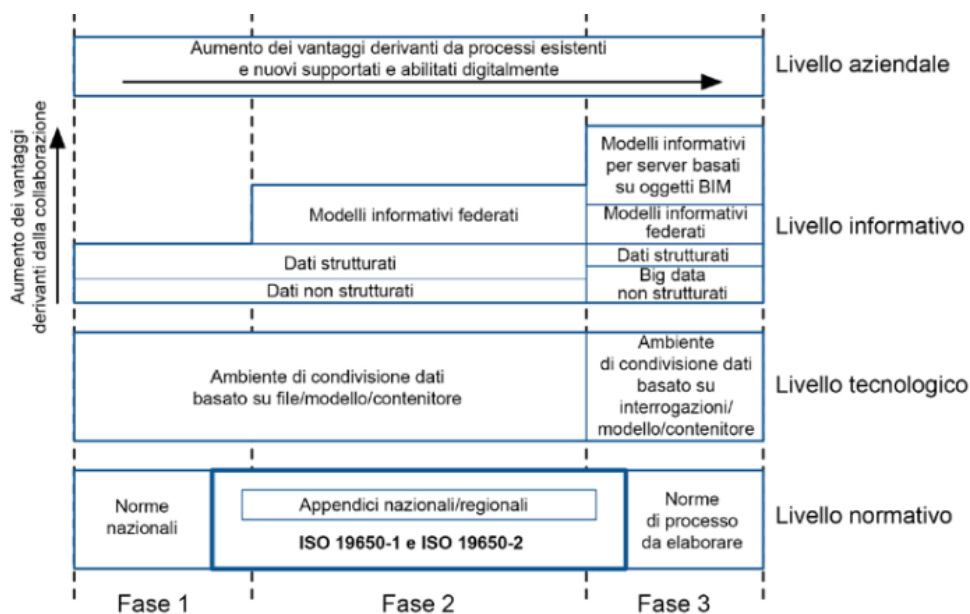


Figura 4: Fasi di maturità del BIM (ISO 19650-1:2018)

<https://www.ingenio-web.it/24594-il-valore-del-dato-condiviso-data-management-e-piattaforme-digitali-per-il-bim>

Analizzando quanto riportato in figura 4, si nota infatti la rappresentazione dei differenti livelli di lettura della normativa:

- Livello normativo, il quale nella fase 1 è costituito dalle norme nazionali, nella fase 2 è costituito dalla ISO 19650 e nella fase 3 sarà supportato da standard che ancora non esistono;
- Livello tecnologico, il quale nelle fasi 1 e 2 si appoggia a Common Data Environment basato sulla gestione di file e modelli e nella fase 3 fornirà database in cui sia possibile effettuare accesso diretto alle informazioni contenute nei modelli;
- Livello informativo, il quale nella fase 1 fa uso principalmente di dati sia strutturati che non strutturati, mentre nella fase 2 introduce il concetto di modello informativo federato: nella fase 3 invece, farà uso di server che consentano la gestione diretta degli oggetti e, pur mantenendo modelli federati e informazioni strutturate, per le informazioni non strutturate sarà necessario misurarsi con il concetto di BIG data.
- Livello aziendale in cui vi è un incremento di benefici dai processi esistenti e da quelli nuovi supportati e abilitati dalla digitalizzazione.

A seguito di una prima fase di evoluzione della modellazione informativa, siamo ora ad un livello in cui la metodologia è abbastanza evoluta e la visione comune è condivisa. Per garantire uno scambio informativo costante tra le parti, l'attuale normativa richiede l'impiego di una piattaforma denominata Common Data Environment (CDE). Tale piattaforma costituisce un luogo dove i diversi soggetti coinvolti nel processo possono condividere modelli informativi, documenti, database e tutto ciò che fa da input e output dei modelli creati.

Negli ultimi anni abbiamo assistito ad un'evoluzione della normativa in merito alla tematica dei livelli di informazione. Inizialmente erano nate due macro-filosofie sull'argomento: la prima di stampo statunitense e una seconda di stampo anglosassone.

Il concetto statunitense utilizzava i *Level of Development* (Livello di Sviluppo), suddivisi in:

- PART. 1: attributi geometrici
- PART.2: attributi informativi

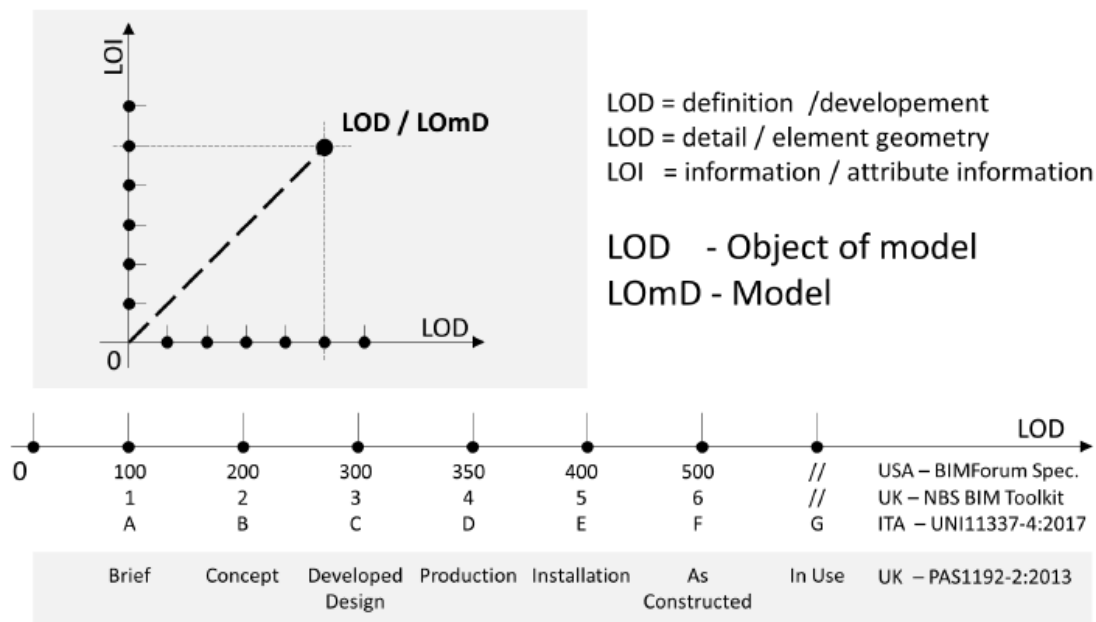


Figura 7: Level of Development (LOD) e Level of Information (LOI) – UK (UNI 11337:2017 – A.Pavan)

Stage number	1	2	3	4	5	6	7
Model name	Brief	Concept	Definition	Design	Build and commission	Handover and closeout	Operation
Systems to be covered	N/A	All	All	All	All	All	All
Graphical illustration (building project)							
Graphical illustration (infrastructure project)							
What the model can be relied upon for	Model information communicating the brief, performance requirements, performance benchmarks and site constraints	Models which communicate the initial response to the brief, aesthetic intent and outline performance requirements. The model can be used for early design development, analysis and co-ordination. Model content is not fixed and may be subject to further design development. The model can be used for co-ordination, sequencing and estimating purposes	A dimensionally correct and co-ordinated model which communicates the response to the brief, aesthetic intent and some performance information that can be used for analysis, design development and early contractor engagement. The model can be used for co-ordination, sequencing and estimating purposes including the agreement of a first stage target price	A dimensionally correct and co-ordinated model that can be used to verify compliance with regulatory requirements. The model can be used as the start point for the incorporation of specialist contractor design models and can include information that can be used for fabrication, co-ordination, sequencing and estimating purposes, including the agreement of a target price/guaranteed maximum price	An accurate model of the asset before and during construction incorporating co-ordinated specialist sub-contract design models and associated model attributes. The model can be used for sequencing of installation and capture of as-installed information	An accurate record of the asset as a constructed at handover, including all information required for operation and maintenance	An updated record of the asset at a fixed point in time incorporating any major changes made since handover, including performance and condition data and all information required for operation and maintenance The full content will be available in the yet to be published PAS 1192-3

Figura 8: Livelli di Definizione – UK (PAS 1192-2. 2013)

Il caso statunitense definiva i livelli di sviluppo delle informazioni congiuntamente tra le richieste grafiche e quelle informative, questo approccio potrebbe non collimare con le richieste delle committenze. Al contrario nella tradizione inglese, i requisiti venivano distinti in LOD e LOI permettendo una maggior libertà alla committenza dividendo gli aspetti prettamente grafici da quelli informativi. L'introduzione della normativa internazionale ISO 19650-1:2018 pone particolarmente l'accento su questo fattore. Infatti viene evidenziato come in realtà tali requisiti debbano essere stabiliti dalla committenza in fase iniziale, ma possono essere suddivisi o implementati in funzione di come la catena di fornitura richieda le informazioni ai diversi stakeholder. Tale approccio introduce un maggior livello di responsabilità nelle committenze che devono strutturarsi per creare dei veri e propri *data-requirement* per la gestione della mole di dati prodotta dai professionisti che si aggiudicano i diversi affidamenti.

Nella norma italiana, la UNI 11337, ai Livelli di Sviluppo viene dedicata la *parte 4: "Evoluzione e sviluppo informativo di modelli, elaborati e oggetti."*

Si tratta di un sistema in cui devono essere definiti anche:

- limiti e modalità di utilizzo di eventuali attributi (geometrici e non geometrici) non parametrici e/o non relazionali (es: gli elaborati bidimensionali estratti dal modello, ma anche eventuali documenti, schede, immagini);
- la natura, la quantità e la qualità delle informazioni non geometriche correlate all'oggetto 3d.
 - LOD A: Oggetto simbolico
 - LOD B: Oggetto generico
 - LOD C: Oggetto definito
 - LOD D: Oggetto dettagliato
 - LOD E: Oggetto specifico
 - LOD F: Oggetto eseguito
 - LOD G: Oggetto aggiornato

È bene ricordare che l'Italia, con la UNI 11337, è oggi a capo del tavolo CEN sui LOD europei.

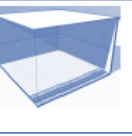
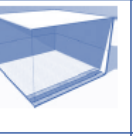
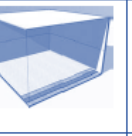
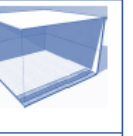
LOD A	LOD B	LOD C	LOD D	LOD E	LOD F	LOD G
						
Geometria Ingombro 2D.	Geometria Volumi approssimati.	Geometria Rappresentazione del volume/ambiente con individuate le finiture.	Geometria Rappresentazione del volume/ambiente con individuati gli spessori delle finiture orizzontali e verticali.	Geometria Rappresentazione del volume/ambiente con sistema, sottosistema e componenti specifici delle finiture orizzontali e verticali rappresentato con spessori reali di marche specifiche.	Geometria Vano finito.	Geometria Vano finito.
Oggetto Linee	Oggetto Volume 3D	Oggetto Volume 3D con finiture	Oggetto Volume 3D con le finiture stratigrafate	Oggetto Volume 3D con le finiture stratigrafate con spessori reali	Oggetto Volume finito con materiali di marche specifiche	Oggetto Volume finito con materiali
Caratteristiche • Posizionamento di massima	Caratteristiche • Definizione d'uso/funzione del vano	Caratteristiche • Definizione materiali di finitura • Spessore pacchetto di finitura • Informazioni dimensionali di superficie	Caratteristiche • Dettagli stratigrafie finiture • Spessori di tutte le finiture • Materiali dettagliati • Rapporti aeroluminanti • Informazioni tipologie impiantistiche • Localizzazione (codifica WBS geografica)	Caratteristiche • Materiale di supporto e informazioni di posa con schede specifiche e tecniche dei prodotti e degli impianti di specifica marca	Caratteristiche • Manuale di manutenzione • Classificazione (UNI 8290, CSI, etc.) • Certificazioni di prodotto • Certificato di omologazione	Caratteristiche • Data di manutenzione • Posa rilevata

Figura 9: Livelli di Definizione ITA (UNI 11337:2017 – A.Pavan)

In Italia la serie UNI 11337, in tutte le sue parti pubblicate, costituisce parte integrante della serie UNI EN ISO 19650. La presente norma internazionale si applica congiuntamente a quella italiana, che si pone come norma complementare. La nuova accezione di *Level of Information Need* (LOIN) vede l'evoluzione in livelli di informazione necessaria per ciascuna consegna informativa.

LOIN = need (purpose, delivery, actors, object)
 LOD = development (phase)
 LOG = geometry (graphic)
 LOI = information (non graphic)
 DOC = document (record)

LOIN: Object of Model

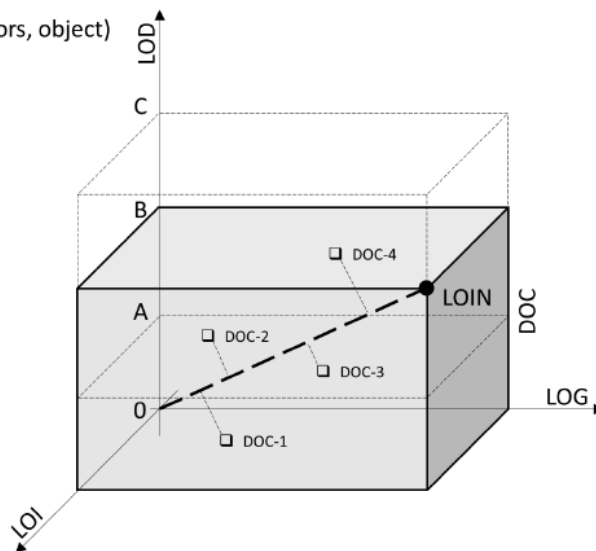


Figura 10: Level of Information Need (UNI 11337:2017 – A.Pavan)

Tale modifica sposta l'accento sulle risposte a cui la stazione appaltante deve far fronte nella fase progettuale, rimuovendo la standardizzazione delle richieste informative nelle diverse committenze. L'importanza di rispondere a specifiche domande connota la maturità e la diversità tra le stazioni appaltanti. Tali requisiti devono includere l'appropriata determinazione della *qualità*, della *quantità* e della *granularità* delle informazioni grafiche ed alfanumeriche. Una volta che queste misure sono state definite, devono essere adottate per determinare il livello di informazione necessario attraverso l'intero progetto o *asset*. Stabilire tali requisiti trasversalmente ai progetti permette di gestire in maniera strutturata i dati contenuti nei modelli e *database* informativi dell'intero patrimonio immobiliare. Il livello di informazione necessaria per rispondere ai principali requisiti anche da altri fornitori di servizi.

Tuttavia, la ISO 19650-1:2018 sottolinea come la sovrapposizione di informazioni comporti un problema al flusso di lavoro. In particolare, effettuare ragionamenti sul progetto avendo troppe informazioni rispetto a quelle necessarie potrebbe comportare fraintendimenti o erronee conclusioni. Per questo motivo ogni committenza stabilisce i livelli informativi per fase progettuale sia di elementi tecnici che di unità ambientali. I differenti Capofila hanno il compito di verificare le informazioni prodotte dalla loro catena di fornitura, prestando attenzione ad eventuali oggetti utilizzati che non sono conformi con i requisiti informativi della stazione appaltante. Dato che è possibile che le informazioni provengano da diversi attori che lavorano sul modello, il livello di informazione necessario è strettamente collegato alla strategia di federazione dei modelli. È importante sottolineare che le informazioni alfanumeriche devono essere considerate importanti quanto quelle legate alle informazioni geometriche. I livelli di informazione vengono distribuiti dalla stazione appaltante come allegato alla linea guida per la gestione informativa. I livelli di dettaglio sono cumulativi e vengono sviluppati durante tutta la fase di progettazione, a partire dal progetto di fattibilità tecnico-economica, al progetto esecutivo, sino ad arrivare all'as-built.

Il risultato conclusivo pubblicato nel 2017 del lavoro condiviso sul tavolo UNI (più di 50 stakeholder pubblici e privati) è così come segue sintetizzabile:

1. si è cercato di mantenere gli acronimi internazionali più consolidati LOD: "Livello di sviluppo degli Oggetti Digitali"; LOI: "Livello di sviluppo degli Oggetti - attributi Informativi";
2. per non perseguire con la confusione tra Development/Definition/Detail, rispetto agli attributi geometrici si è scelta la strada dei LOG: "Livello di sviluppo degli Oggetti - attributi Geometrici";

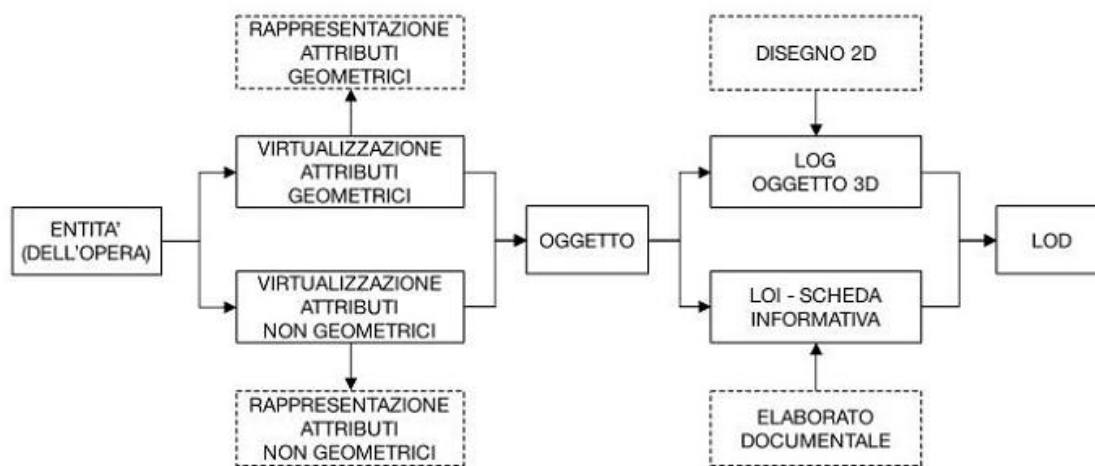


Figura 11: Schema di ristrutturazione dei LOD Italiani

<https://www.ingenio-web.it/18667-sistema-dei-lod-italiano-uni-11337-4-2017>

3. si è scelta la strada statunitense del concetto di LOD come livello di "sviluppo": attributi qualitativi incrementali, come binomio di numerosità degli attributi ma anche solidità del dato;
4. si è definita una scala generale di LOD con successiva esemplificazione dei sistemi costruttivi più significativi.
5. si è scelto di usare una scala di LOD definita secondo le prime lettere (maiuscole) dell'alfabeto: LOD A, B... ..G, per non creare confusione con quella statunitense, per centinaia, LOD 100, 200, ecc., o britannica, per numeri interi LOD 1, 2, ecc. I LOD italiani prendono spunto da quelli USA ma integrano alcuni aspetti UK e risentono di altre prerogative tipicamente nazionali, non presenti nell'uno o nell'altro, ed invece ritenute importanti per il nostro mercato;
6. si sono definite le scale di LOD specifiche per:
 - la nuova costruzione ed il recupero,
 - il territorio e le infrastrutture,
 - i mezzi e le attrezzature (primi nel mondo);
 - il restauro ed i beni vincolati (primi nel mondo);
7. per i contratti pubblici si sono definiti dei LOD caratteristici che ne consentano l'uso secondo la normativa appalti vigente (Allegato I alla parte 4 della norma; soli tre livelli denominati: fattibilità tecnico-economica, definitivo, esecutivo);

8. si è in fine definita la possibilità di integrare gli attributi dei LOD di alcuni oggetti anche con nodi e viste 2D, se non necessaria o economicamente/tecnicamente non sostenibile la loro modellazione, e la modalità di integrazione dei LOD degli oggetti all'interno del complessivo processo informativo digitale:

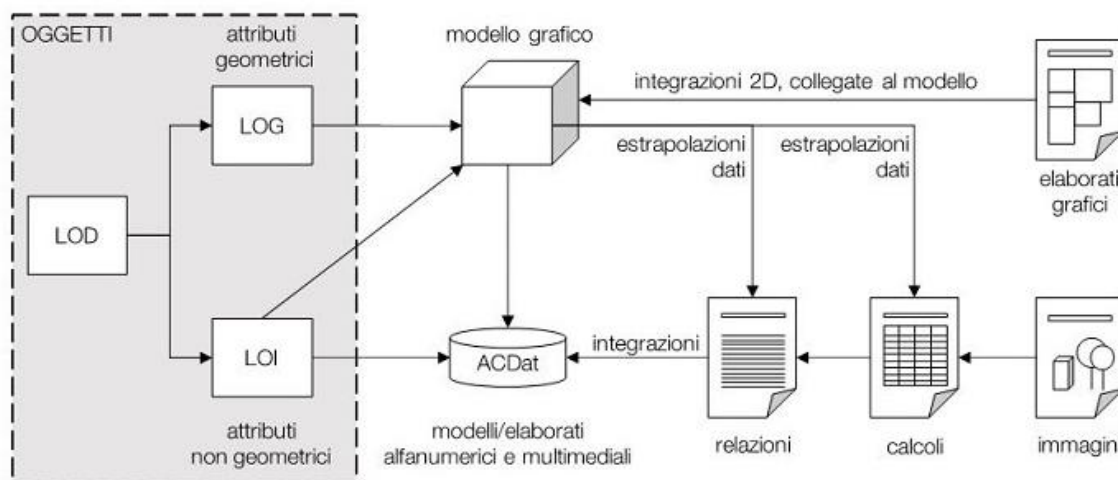


Figura 12: Flusso di dati nel processo digitale attraverso i LOD degli oggetti

<https://www.ingenio-web.it/18667-sistema-dei-lod-italiano-uni-11337-4-2017>

1.5. Le dimensioni del BIM

Un modo assolutamente intuitivo, e forse anche suggestivo, per definire gli argomenti che entrano in gioco nella digitalizzazione dell'edilizia è quello di riferirsi alle "dimensioni". Nel BIM il concetto di dimensione assume un significato più ampio. Le Dimensioni del BIM servono a schematizzare le "potenzialità" che l'informatizzazione del progetto permette. Infatti è possibile estrapolare, combinare ed analizzare i dati che riguardano aspetti che vanno oltre la modellazione architettonica tradizionale. Le norme italiane UNI 11337 sul BIM, hanno adottato questa classificazione:

- 3D: modellazione tridimensionale
- 4D: gestione temporale
- 5D: gestione economica
- 6D: ciclo di vita e manutenzione
- 7D: sostenibilità

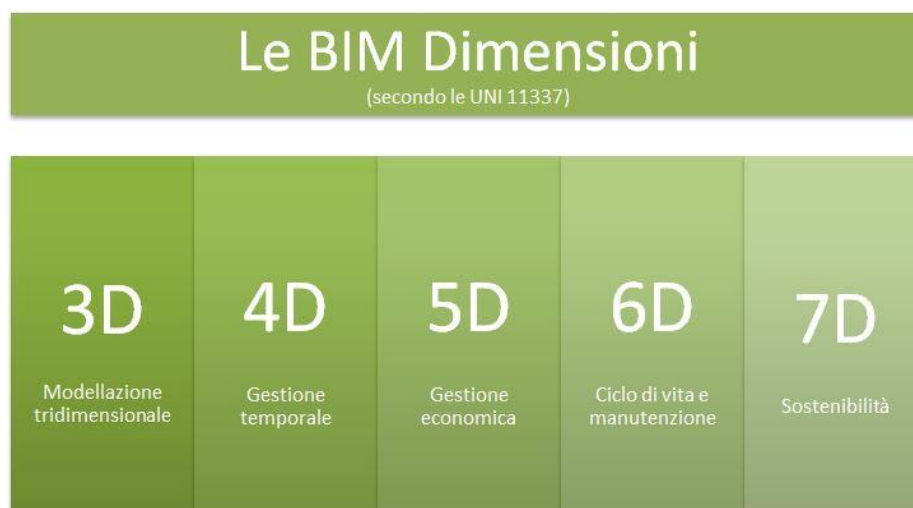


Figura 13: Le BIM dimensioni secondo le UNI 11337

1.5.1. Modellazione tridimensionale 3D

Tutto il BIM ruota attorno ad un modello digitale integrato da cui vari soggetti interessati come Architetti, Ingegneri civili, Ingegneri strutturali, Ingegneri di Impiantistica (MEP), Costruttori, Produttori e Committenti possono condividere, estrarre e generare informazioni in base alle loro competenze ed esigenze. Le funzionalità di visualizzazione 3D di BIM consentono ai partecipanti di vedere l'edificio in tre dimensioni nel tempo, nel susseguirsi delle fasi e del ciclo di vita dell'edificio. Il BIM aiuta i partecipanti a gestire in modo più efficace la loro collaborazione multidisciplinare nella modellazione e nell'analisi. Inoltre, in quanto il modello BIM è un modello "vivente", i molteplici dati raccolti lungo il ciclo di vita dell'edificio dovranno essere memorizzati in forma digitale. Il modello BIM si arricchisce di nuovi dati aggiungendo valore a modelli che consentono di risolvere in modo sempre più preciso i problemi. Si hanno i seguenti benefici:

- Visualizzazione del progetto, comunicazione comune
- Migliore collaborazione multidisciplinare
- Riduzione errori

L'utilizzo di strumenti all'avanguardia per la realizzazione di un modello digitale dell'opera edilizia consente di curare sempre più il dettaglio grafico della nostra progettazione, garantendoci una resa realistica dell'aspetto estetico ed un'ottima aderenza geometrica degli elementi modellati. I problemi risolvibili in fase di progettazione ormai non si limitano a quelli relativi alla resa del modello in quanto

tale, considerato avulso dal resto delle discipline tecniche coinvolte, ma contemplano anche l'interazione dei vari attori/discipline che tale metodologia ha insita nella sua natura. Nasce quindi la necessità di una gestione dell'attività nota come "model checking" che operativamente si formalizza in due operazioni distinte:

- il code checking: ossia la verifica dell'aderenza del modello alle richieste progettuali e normative
- la clash detection: ovvero l'analisi preventiva dei conflitti geometrici (e non) presenti nel modello

1.5.2. Gestione temporale 4D

La modellazione 4D-BIM (la quarta dimensione del BIM), è utile per l'organizzazione delle attività relative alla pianificazione dei tempi del modello. Consente ai partecipanti di estrarre e visualizzare il progresso delle attività durante il ciclo di vita del progetto, migliorando il controllo del rilevamento dei conflitti derivanti dalle diverse attività che si verificano durante l'esecuzione del progetto di costruzione o in conseguenza delle modifiche.

La presa di coscienza della necessità di gestire il tempo, aspetto legato al "management" più che alla progettazione edilizia, è ben lontana dall'essere una novità. Conosciamo i metodi tradizionalmente affiancati alla progettazione edilizia (diagramma di Gantt e Pert, ecc.) per la gestione della durata di un cantiere o più in generale di una commessa e siamo ben consci dei loro limiti e delle loro criticità:

- la perdita informativa nella trasmissione dei dati da progettista ad impresa
- la mancanza di comunicazione tra direzione lavori e fornitori
- l'effettiva presenza e la precisa collocazione dei materiali in cantiere
- lo stato dell'esecuzione dell'opera.

Questi sono solo alcuni dei motivi che causano ritardi e inefficienze con la conseguente necessità di dover rivedere quanto programmato fino a quel momento. La necessità di poter ridurre, gestire e riorganizzare i tempi di commessa in maniera dinamica ed aperta a valutazioni analitiche può trovare risposta nell'utilizzo di nuovi strumenti e nuove metodologie.

La costruzione di “WBS – Work Breakdown Structure”, consente la scomposizione analitica di un progetto in parti elementari appositamente pensate per essere collegate a quanto modellato per estrapolare, organizzare e visualizzare agevolmente il progredire dell’opera che può rappresentare uno dei modi di innovare la gestione di questa dimensione. Si hanno i seguenti benefici:

- L'integrazione del modello BIM-4D porta i vantaggi ai partecipanti in termini di ottimizzazione della pianificazione dei tempi.
- Costruttori e produttori possono ottimizzare le attività costruttive e di coordinamento.

1.5.3. Gestione economica 5D

La modellazione 5D-BIM (la quinta dimensione del BIM) viene utilizzata per attività di stima e analisi dei costi, associandola al modello 3D e al BIM-4D (tempi) consente ai partecipanti di visualizzare il progresso delle loro attività ed i relativi costi nel tempo. L'utilizzo della tecnologia 5D-BIM determina una maggiore precisione e prevedibilità della stima dei costi del progetto, delle variazioni delle quantità e dei materiali, delle attrezzature o manodopera, fornendo metodi per l'estrazione e l'analisi dei costi, e di valutazione degli scenari e impatti conseguenti alle modifiche.

La materia della “computazione” è oggetto di studio da tempo: il risultato di queste indagini fornisce oggi “workflow” ben strutturati e strumenti informatici capaci di soddisfare svariate esigenze. Il punto nevralgico della metodologia è il “Quantity Take Off”, ossia l’estrazione delle misure dal progetto per poter definire le quantità di materiale/i necessario alla realizzazione di uno o più elementi. Compiuta questa operazione, al “computista” resta da scegliere le voci di elenco prezzi da assegnare alle lavorazioni, con relativo prezzo unitario, determinandone così l’importo. Poniamo l’accento sulla scelta effettuata del computista e proviamo a domandarci se essa collima con quanto il progettista ha in mente o se la discrezionalità di tale operazione può comportare una mancata trasmissione del dato informativo. Ed inoltre pensiamo al modo tradizionale di aggiornare il computo parallelamente a come evolve la progettazione dell’opera e chiediamoci in tal modo se non ci sia la possibilità che qualche dato sfugga al processo di aggiornamento (la probabilità è molto elevata!).

Pensiamo infine al risultato dell'attività di computazione e, effettuando un confronto con il BIM 4D, proviamo a chiederci ancora una volta se esso debba essere un prodotto statico o dinamico, chiuso o aperto ad analisi multicriterio per essere messo in connessione con aspetti, quali quelli manutentivi ad esempio, strettamente interconnessi ma trattati in modo separato. Anche in questo caso appare chiaro come il ripensamento dei processi, delle interazioni e degli strumenti possa snellire ed efficientare la gestione del dato informativo, e legare questa dimensione ad altri aspetti del "life cycle building".

1.5.4. Ciclo di vita e manutenzione 6D

Il BIM 6D permette di ottimizzare la gestione e la manutenzione dell'oggetto edilizio per tutto il suo ciclo di vita. Esso fornisce le informazioni sui singoli componenti: dagli impianti tecnici alle finiture. Uno degli obiettivi della metodologia BIM è quello della realizzazione di un modello virtuale (tridimensionale ed informativo) che possa essere quanto più fedele a quanto realmente realizzato. Un modello del genere viene definito come "As-built" e riporta con sé non soltanto quanto progettato ma quanto effettivamente viene realizzato in fase di cantierizzazione. Infatti, quanto ideato in sede di progetto, viene tradizionalmente rivisto e modificato in sede di cantiere per far fronte ad eventuali varianti in corso d'opera o per la risoluzione di conflitti geometrici o operativi che non erano stati presi in considerazione durante la fase di concepimento dell'opera.

Ma la questione non si esaurisce in questi termini: infatti questo modello non è da intendersi come un modello prodotto da un unico software di "BIM authoring" ma come prodotto di un insieme di modelli realizzati con software capaci di descrivere l'opera in maniera adeguata al livello di sviluppo digitale richiesto (LOD inteso come "Level of Development"). Ed ancora il "modello" in un'accezione più ampia deve contemplare la trasmissione del database informativo costruito attorno alla rappresentazione virtuale "dell'oggetto edificio", in modo da poter conservare e trasmettere quanto prodotto. Nel momento in cui si parla di "life cycle building" non si può prescindere dal considerare gli aspetti di manutenzione e di dismissione o rinnovamento dell'opera edilizia.

1.5.5. Sostenibilità 7D

Con questa dimensione si ha l'analisi dei consumi energetici dell'edificio. Analizzare sin dalle fasi di progetto le prestazioni energetiche, permette di adottare le soluzioni tecniche più idonee per garantire un minor consumo energetico, garantendo la sostenibilità del progetto.

Il concetto di "sviluppo sostenibile" viene formalizzato per la prima volta nel 1987 all'interno del rapporto "Brundtland" stilato dalla Commissione mondiale per l'ambiente e lo sviluppo. Già allora esso viene definito non come il raggiungimento di una condizione di armonia definitiva, bensì viene visto come l'urgenza di far convergere lo sfruttamento delle risorse naturali, la direzione degli investimenti, l'orientamento dello sviluppo tecnologico e degli sforzi istituzionali verso un percorso che soddisfi in maniera bilanciata i bisogni odierni tanto quanto quelli futuri.

Il concetto di sostenibilità, infatti, può essere esaminato sotto tre diversi punti di vista, si parla infatti di sostenibilità:

- ambientale, posta nei termini di capacità di riproduzione e mantenimento delle risorse naturali
- economica, intesa come facoltà di generare reddito e lavoro
- sociale, se la si guarda come generatrice di benessere per l'uomo.

Calzare questo concetto su un'opera e parlare quindi di progettazione sostenibile non è sempre semplice, ancor di più farlo in ottica di innovazione: progettare in modo sostenibile può essere inteso come progettare in modo qualitativamente significativo. Secondo tale accezione, considerando inoltre la rivoluzione tecnologica e metodologica che ci prepariamo ad affrontare, si aprono diversi e nuovi scenari sulle possibilità effettive di realizzare progetti "di qualità". Probabilmente l'adozione di una metodologia che "obbliga" alla programmazione dei processi e che apre l'organismo edilizio ad una più semplice gestione consentirà di rendere più performanti i processi analitici oggi coinvolti nella valutazione del concetto di sostenibilità di una struttura. Basta pensare al mondo dell'analisi energetica, che si appresta in questo modo a passare dal regime "stazionario" a quello "dinamico", o alle analisi (LCA, ecc.) e metodi di valutazione multicriterio (LEED, ITACA, ecc.) che sicuramente potranno così fruire di dati sempre più numerosi e prossimi alla realtà e che conseguentemente potranno fornire output migliori.

Le ultime ricerche in ambito BIM dimension contemplano anche un'ottava dimensione sulle misure di sicurezza relative alla fase di costruzione. La modellazione 4D in parallelo alla programmazione dei lavori di costruzione presentava già la tematica della sicurezza attraverso la simulazione del sito e

delle operazioni di cantiere. Resterà da vedere se il tema della sicurezza nella letteratura BIM riuscirà a raggiungere una dimensione autonoma, riunendo così gli elementi sparsi nelle modellazioni precedenti. In questo senso Imriyas Kamardeen in "*8D BIM Modelling tool for accident prevention through design*" colloca la tematica della prevenzione degli infortuni di cantiere in una dimensione autonoma e perfettamente in linea con la configurazione BIM. Lo studio riporta diverse statistiche sul rapporto tra errori di progettazione e sinistri in fase di costruzione. Nel processo tradizionale il ruolo del progettista è legato alla progettazione dell'edificio in modo tale da essere conforme alle norme locali vigenti. La sicurezza del cantiere è lasciata all'impresa costruttrice, creando così l'ennesimo elemento di frattura tra le fasi. Il fatto che i progettisti possono avere una forte influenza sulla sicurezza delle costruzioni può costituire un altro incentivo verso l'adozione di metodologie BIM di processo. Il tema dell'8D si colloca ancora in una fase di ricerca e sperimentazione e per adesso non vi è alcuna dimostrazione della sua applicazione.

2. Gestione delle informazioni nei modelli BIM

La lettera “I” dell’acronimo BIM indica le informazioni contenute all’interno di un modello. La tecnologia BIM riportata nella serie ISO 19650 prevede che il committente sia il primo soggetto a produrre informazioni, deputato a definire gli obiettivi e i requisiti informativi all’avvio del progetto. I requisiti informativi determinano quali, come e quando devono essere prodotte le informazioni necessarie alla stazione appaltante per il supporto dei processi decisionali, al fine di seguire gli obiettivi della pubblica amministrazione e gli obiettivi del progetto.

Attraverso la metodologia BIM sono gestibili informazioni di ogni natura quali informazioni temporali, economiche, gestionali, manutentive, acustiche, illuminotecniche, ambientali, di sicurezza al fuoco e salute e sicurezza dei luoghi di lavoro. La capacità di gestione di queste informazioni permette di migliorare il processo edilizio da ogni prospettiva. La normativa internazionale sottolinea nella definizione dei LoIN (Level of Information Need) il valore alle informazioni, evidenziando come la granularità delle informazioni alfanumeriche dovrebbe essere considerata almeno altrettanto importante di quella delle informazioni geometriche. Questo cambiamento metodologico valorizza l’importanza del dato nel processo e maggiormente questo approccio allinea questi aspetti del settore delle costruzioni a quelli che hanno valorizzato il comparto manifatturiero e industriale negli ultimi cinquant’anni. In questo capitolo verranno affrontati gli aspetti di interoperabilità e quelli legati ai formati aperti come l’IFC (Industry Foundation Classes).

2.1. Industry Foundation Classes (IFC)

Lo standard IFC (Industry Foundation Classes) è diffuso tra i professionisti che utilizzano la tecnologia BIM come modello di dati sviluppato dal BuildingSMART¹ per facilitare l’interoperabilità nel settore AEC. I vantaggi del BIM si realizzano solo attraverso la condivisione di informazioni tra le organizzazioni, tra i progettisti e i database.

¹ Norma ISO 16739 - Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries - First Edition, Aprile 2013.

Entra qui in gioco lo standard IFC, elemento chiave per realizzare questo obiettivo. Alla base di questo progetto c'è il fine di realizzare uno strumento che non dipende da formati proprietari dei produttori di software, per evitare un monopolio della tecnologia BIM, la quale ha alla base il concetto di libertà di trasmissione dei dati. Per questo motivo lo standard IFC si pone come garante per la libera comunicazione delle informazioni tra le case di produzione dei software di modellazione, le quali hanno partecipato allo sviluppo dell'IFC per rendere compatibili i loro prodotti. Abbiamo quindi un formato standard di rappresentazione dei dati, utilizzato per definire dati architettonici e informazioni legate alla costruzione, come lo sono gli oggetti 3D (documentazione informativa, piante e sezioni cartacee, ...) nel mondo reale.

Lo scopo principale dell'IFC è fornire una serie di definizioni per tutti i tipi di elementi incontrati nel settore AEC con una struttura basata su informazioni text-based, unico formato universalmente riconosciuto nell'informatica, per l'archiviazione di queste definizioni in un file di dati.

I moderni sistemi di Building Information Modeling sono in grado di creare rappresentazioni complete degli oggetti che compongono l'intero edificio, che grazie al linguaggio comune dell'IFC per il trasferimento delle informazioni tra i diversi software, permettono alle informazioni di mantenere sempre lo stesso significato per ogni utente. Nonostante sia il formato di interoperabilità per eccellenza non è esente da criticità, e per questo ancora in via di sviluppo.

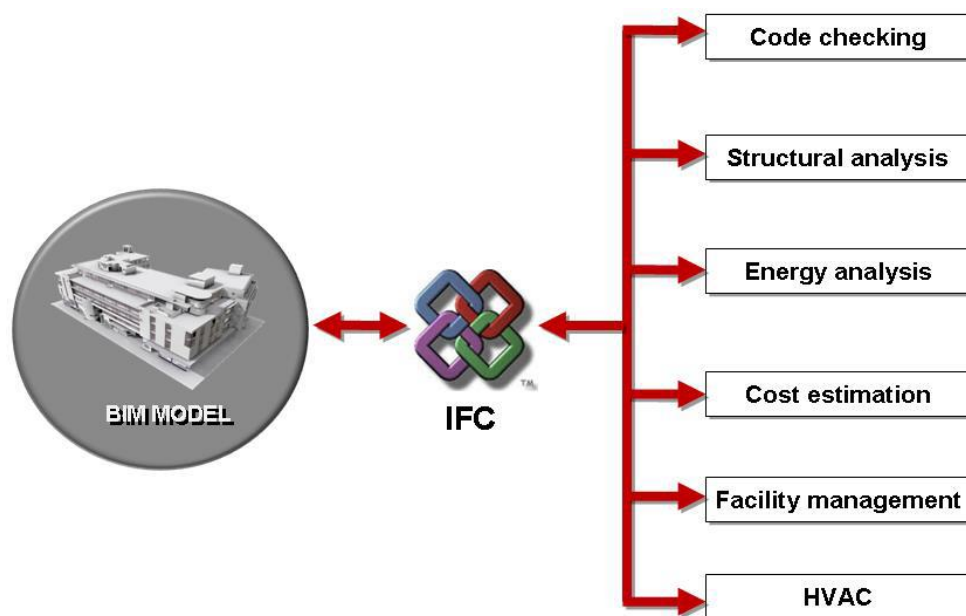


Figura 14: Interoperabilità tra diversi software di diverse discipline attraverso lo standard IFC

2.2. Interoperabilità: problematiche e vantaggi applicativi

L'interoperabilità è il requisito principale affinché il BIM venga effettivamente impiegato come metodologia e non come modello semplificato durante le fasi di progettazione. L'interoperabilità è la capacità di passare i dati tra le applicazioni, e per applicazioni multiple di contribuire unitamente al lavoro in questione e renderlo a portata di mano. Rappresenta lo scambio automatico dei modelli e di altri dati tra diverse piattaforme software per una completa integrazione e collaborazione tra i diversi attori del processo edilizio. Questi software devono contenere tutti gli standard nascondendo la complessità all'utente, definendo le condizioni di scambio delle informazioni in modo dettagliato. L'interoperabilità elimina la necessità di copiare manualmente dati già generati in un'altra applicazione ed offre la possibilità di condividere e scambiare rapidamente e accuratamente i dati e le informazioni di prodotti e di processi tra i sistemi utilizzati dal team di progettazione migliorando l'efficacia e l'efficienza del processo edilizio. Ci sono due tipologie di interoperabilità:

- Sociale: abilità a operare e collaborare in un gruppo
- Informatica: scambio dati/informazioni tra programmi

L'interoperabilità permette di creare un modello intelligente innescando un meccanismo di collaborazione e di interazione tra diverse figure professionali. Possiamo lavorare in maniera interoperabile sul fronte architettonico, strutturale, impiantistico, energetico ed economico intervenendo su un solo modello analitico digitale che rispecchia dettagliatamente e parametricamente quello che sarà poi l'intervento reale.



Figura 15: Interoperabilità in BIM

<http://www.aseec.it/bim/>

La richiesta di interoperabilità è condizionata dal livello di sviluppo del BIM.

- Livello 1: scambio di dati su file



Figura 16: Modelli 2d e 3d non coordinati – trasmissione file DXF, DWG, DOC, ecc.

- Livello 2A: interoperabilità attraverso dati su file

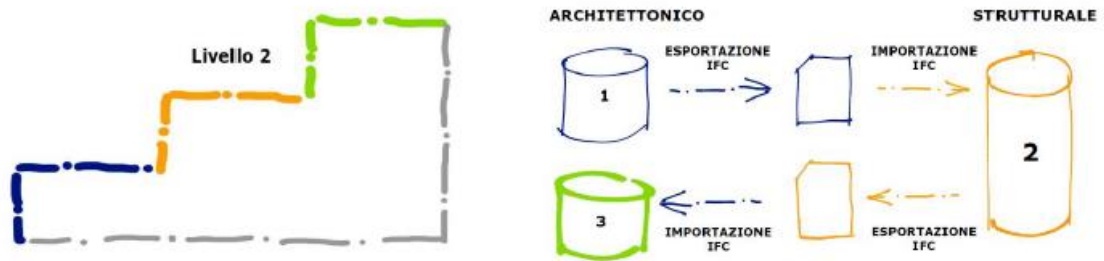


Figura 17: Il modello finale (3) integra tutte le informazioni (1) + (2)

- Livello 2B: interoperabilità su modello federato

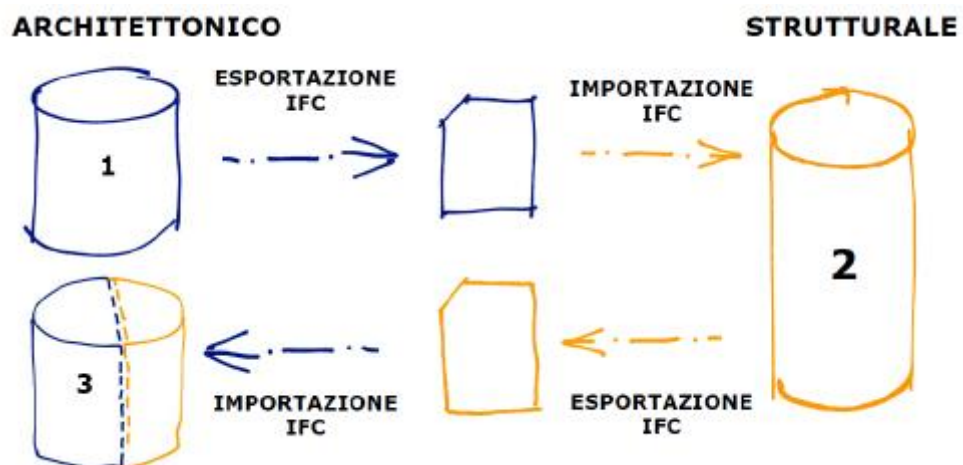


Figura 18: Il modello finale (3) contiene tutte le informazioni (1) + (2) in modo distinto

- Livello 3: interoperabilità complete



Figura 19: Integrazione Interoperabilità completa

In conclusione, valutare allo stato attuale le condizioni di operatività dello standard IFC risulta un'operazione che attraversa una serie di aspetti. Per quanto riguarda la sua stessa composizione, il formato ha un numero elevato di oggetti e connessioni esente da ripetizioni tale da sviluppare una rappresentazione generale non semplice e intuitiva, sfruttabile solo tramite maschere software che permettono di identificare un punto di vista. Questo può rappresentare una criticità quando si tratta di collaborare, dato che il punto di vista potrebbe distinguersi per pochi dettagli, ma allo stesso tempo permette di analizzare i dati da varie prospettive, con vantaggi per vari operatori specializzati. Uno degli aspetti più critici riguarda la perdita di gestione parametrizzata degli elementi geometrici. Di fatto, quando viene tradotto la rappresentazione geometrica ed informativa dell'oggetto (anche una semplice porta a un'anta) si perde la possibilità di modificare in un secondo momento l'istanza, cambiandone le dimensioni, se non conoscendo profondamente il linguaggio base di un IFC. Per quanto concerne la pur rappresentazione grafica, trattasi di un aspetto molto importante per la parte comunicativa del settore costruzioni, si deve segnalare che il formato IFC non conserva le viste bidimensionali e le afferenti annotazioni impostate in un modello. In tal senso, vengono conservate le sole geometrie modellate tridimensionalmente, fattore che non è per sempre conforme ai requisiti dettati dalla stazione appaltante. Inoltre, tutti i passafini osservati per gestire la transizione dall'architettura informativa proprietaria a quella sviluppata da Building Smart spesso limitano l'adozione del formato open source. Una possibile soluzione risulta l'adozione di programmi con formato IFC nativo, al momento poco sviluppati e poco presenti all'interno del mercato. Questi permetterebbero di sfruttare a pieno le potenzialità del formato interdisciplinare in termini di coerenza, tempi e costi della gestione informativa.

3. Pianificazione, programmazione e gestione dell'intervento

3.1. Il Project Management, cenni storici, definizioni e obiettivi

- **Cenni storici**

Nei primi anni del novecento, l'aumento dei ritmi produttivi rese necessaria l'adozione di metodi razionali e semplici per la programmazione del lavoro, basati sull'individuazione di una sequenza di attività elementari e sulla durata prevista nel tempo per ciascuna di esse. All'inizio del secolo XX lo statunitense H.L. Grant lavorando a fianco dello studioso dei problemi di organizzazione del lavoro F. W. Taylor, elaborò una semplice tecnica di programmazione del processo produttivo industriale mediante un diagramma a "barre temporali", che rappresentava ogni singola attività e la sua durata con la scala del tempo indicata sull'asse delle ascisse. Le prime elaborazioni relative al Project Management, evidenziavano la durata prevista per ciascuna attività elementare con il risultato di poter programmare nel tempo l'intera sequenza del lavoro.

Tra gli anni 1960 e 1970 negli Stati Uniti si cominciava a diffondere la concezione, ancora valida, secondo la quale il Project Management è un approccio organizzativo globale, un valido strumento per la gestione dell'intero processo produttivo in generale e nel caso particolare di quello edilizio. Testimonianza dell'interesse diffusosi negli Stati Uniti tra il 1960 e il 1970 è stata la fondazione di una organizzazione professionale chiamata PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (PMI).

- **Obiettivi del PM**

Il PM è costituito dall'unione di una serie di conoscenze, tecniche e pratiche che, opportunamente integrate, consentono:

- Gestione del contenuto
- Rispetto dei tempi
- Rispetto dei costi
- Rispetto della qualità
- Attenzione alle risorse umane
- Controllo dei rischi
- Cura delle comunicazioni
- Cura delle fonti di approvvigionamento.

- **Benefici**

- Migliorare i processi decisionali dell'azienda;
- Costituire un'integrazione tra committente, progettisti e impresa di costruzione;
- Ottimizzare le attività del Project manager, di tutti i componenti del team di progettazione e di tutte le figure coinvolte nel progetto;
- Migliorare la comunicazione del team di progetto;
- Aumentare l'efficienza produttiva;
- Ridurre i rischi di progetto

- **Fattori determinanti**

Raggiungere e superare le richieste e le aspettative degli Stakeholder inevitabilmente comporta una ulteriore analisi tra i seguenti fattori:

- Il campo d'azione (scope), il tempo, i costi e la qualità;
- Gli Stakeholder con necessità ed aspettative differenti;
- I requisiti identificati (bisogni) e i requisiti non identificati (attese).

- **Gli Stakeholder**

Si intendono gli individui che sono attivamente coinvolti nel progetto e la cui soddisfazione influenza il successo del progetto stesso. Essi si suddividono in stakeholder primari e secondari, in base a quanto possono influenzare il progetto, sono tipicamente:

- Il Project Manager
- Il Cliente/Committente
- La Struttura coinvolta nel progetto
- Gli Sponsor (supporter in vari modi del progetto)
- Qualunque terzo sia coinvolto dagli effetti del progetto

- **Aree di interesse**

Descrivono le conoscenze e le attività che compongono i processi di gestione di un progetto. Studiare e governare un progetto da questi punti di vista è una necessità derivante dalla complessità che lo caratterizza. La pianificazione di un progetto risulta essere completa solamente qualora siano state prese in considerazione tutte le aree.

- Campo d'azione (scope)

Insieme di tutte le attività che devono essere svolte al fine di assicurare che il progetto contenga tutto e raggiunga l'obiettivo prefissato. Definisce e controlla cosa è o non è compreso nel progetto.

- Tempi (Time)

Comprende le attività necessarie per assicurare il completamento del progetto nei tempi prestabiliti, tra cui la schedulazione.

- Costi (Costi)

Contiene le attività che assicurano che il progetto sia completato entro il budget approvato.

- Qualità (Qualità)

Racchiude le attività necessarie per far sì che il progetto soddisfi i requisiti ed i suoi bisogni. Comprende ed implementa tutte le attività di gestione che determinano le politiche di qualità, gli obiettivi e le responsabilità.

- Risorse umane (Human Resource)

Insieme di tutte le attività che devono essere svolte per ottenere un inserimento ottimale di tutti coloro che sono coinvolti nel progetto ed una loro collaborazione attiva il più efficiente possibile.

- Rischi (Risk)

Racchiude tutte le attività legate all'identificazione, all'analisi ed alle risposte sulla criticità del progetto. Include la massimizzazione dei risultati degli eventi positivi e la minimizzazione delle conseguenze degli eventi negativi tramite la definizione di azioni atte a contrastarli.

- Approvvigionamento (Procurement)

Contiene le attività richieste per acquisire beni e servizi dall'esterno dell'organizzazione.

- Integrazione (Integration)

Comprende le attività necessarie ad assicurare che i vari elementi del progetto siano opportunamente coordinati. Comporta la mediazione tra obiettivi ed alternative per favorire i bisogni e le aspettative degli Stakeholder.

- **Azioni**

Le azioni principali del Project Management sono:

- La pianificazione,
- La direzione,
- Il controllo.

Queste azioni devono essere intraprese dal Project Manager, che deve esercitare la propria leadership e, allo stesso tempo, fare ricorso alle proprie capacità tecniche e manageriali.

PIANIFICARE significa individuare, definire e valutare i seguenti aspetti:

- Il campo d'azione, ovvero ciò che è o meno compreso nel progetto
- Le attività da svolgere;
- Le responsabilità;
- I rischi;
- Il bisogno di risorse;
- Gli obiettivi intermedi;
- I risultati che si vogliono raggiungere.

DIRIGERE significa coordinare lo svolgimento delle attività al fine di rendere effettivo quanto pianificato.

CONTROLLARE equivale a valutare periodicamente il lavoro svolto e verificare lo scostamento rispetto a quanto pianificato, intraprendendo eventualmente azioni correttive dove opportuno.

Gestire un progetto, partendo da una pianificazione iniziale e monitorandolo durante tutto il suo ciclo di crescita, comporta una riduzione dei costi, dei tempi ed una migliore qualità del prodotto o servizio generato. L'approccio manageriale consente di svolgere le attività del progetto in relazione ai tempi e ai costi preventivati, di ottimizzare le risorse materiali e umane utilizzate e individuare risposte immediate al presentarsi di eventi imprevisti.

- **Definizioni: Progetto**

"Il progetto è un'iniziativa temporanea intrapresa per creare un prodotto o servizio unico".²

² Project Management Institute, 1987

Le proprietà del progetto sono:

- Obiettivi Definiti;
- Unicità (non ripetitività);
- Temporaneità;
- Multidisciplinarietà;
- Disponibilità di Risorse Limitate

Esso è temporaneo, quindi deve essere ben collocato nel tempo, con precise date di inizio e fine, questo non significa che sia limitato nel tempo. La maggior parte dei progetti ha un risultato che abbia una lunga durata nel tempo, come, per esempio, un complesso edilizio. In caso di successo, il completamento di un progetto coincide col raggiungimento degli obiettivi prefissati. Il risultato ottenuto da ciascun progetto deve essere unico, ovvero differente da tutti gli altri prodotti o servizi simili. Questo significa che un progetto è sempre caratterizzato da aspetti di innovazione, data l'unicità del risultato che si aspetta.

- **Definizioni: Processo**

“Un processo è un insieme di attività correlate o interagenti che trasformano elementi in entrata in elementi in uscita fornendo valore aggiunto.”³

Un progetto è caratterizzato da continui aspetti di innovazione e novità, mentre un processo è caratterizzato dal fatto di essere ripetibile. Tutte le attività di una organizzazione sono configurabili come processi. Un processo è pertanto caratterizzato da un insieme di risorse e di attività tra loro interconnesse che trasformano degli elementi in entrata (input) in elementi in uscita (output). Le risorse possono comprendere personale, disponibilità finanziaria, mezzi, apparecchiature, tecnologie e metodologie. Gli input e gli output di un processo sono in genere documenti (esempi: specifiche, schemi di progettazione, studi di fattibilità, ecc.), che vengono trasformati nell'ambito delle attività del processo stesso.

³ Norma UNI EN ISO 9000:2000

- **Definizioni: Il Project Management**

*"Il Project Management è la gestione sistemica di un'impresa (intrapresa) complessa, unica e di durata limitata, rivolta al raggiungimento di un obiettivo predefinito mediante un processo continuo di pianificazione e controllo di risorse differenziate e limitate, con vincoli interdipendenti di tempo-costo-qualità."*⁴

Da tale definizione ne deriva che con l'espressione inglese di PM ci si riferisce a qualunque approccio strutturato alla realizzazione di un progetto, inteso come insieme di attività di durata finita nel tempo. Le fasi o processi del Project management sono: la pianificazione, l'esecuzione e il monitoraggio del progresso delle attività che compongono il progetto. Il Project Management fornisce un insieme di metodologie e direttive per raggiungere l'obiettivo prefissato, nel rispetto dei vincoli imposti in termini di tempo, costi, qualità e risorse.

3.2. Pianificazione e programmazione, le basi del Project Management

Un progetto è caratterizzato da un ciclo di vita, che è suddiviso in fasi consecutive sino al raggiungimento dei risultati finali e degli obiettivi prefissati. Ciascuna fase è a sua volta contraddistinta dai processi di gestione, attraverso i quali è possibile pianificare, eseguire e controllare lo stato del progetto durante tutto il suo sviluppo. Le attività svolte per raggiungere gli obiettivi di un progetto sono di sviluppo e gestione. Non è concepibile la realizzazione di un prodotto o di un servizio complesso senza predisporre attività, tipicamente assegnate al Project Manager, per l'organizzazione e la gestione del progetto. I processi decisionali, esecutivi e di gestione sono collegati tra loro, per cui gli output di uno sono gli input di un altro. Inoltre i tre processi centrali (pianificazione, esecuzione e controllo) possono ripetersi ciclicamente. Le attività decisionali e gestionali relative alla realizzazione di un progetto sono:

- Pianificazione e Programmazione;
- Identificazione e Organizzazione risorse necessarie;
- Direzione e Coordinamento infra e interdisciplinare;
- Controllo risorse impiegate;

⁴ "Tecniche di project management – Pianificazione e controllo dei progetti" Rocco Amato e Roberto Chiappi

- Controllo Avanzamento ed eventuali non conformità;
- Valutazione Finale.

Di importanza fondamentale sono le fasi decisionali di pianificazioni e programmazione (Fasi di START-UP), insieme naturalmente alla progettazione, dalla quale derivano tutte le altre fasi del processo edilizio.

FASE DI START-UP - PIANIFICAZIONE E PROGRAMMAZIONE: AZIONI

- Stabilire gli obiettivi (cosa il committente vuole realizzare e perché);
- Individuare e analizzare i dati di partenza;
- Scoprire e verificare i concetti di impostazione (come il committente vuole realizzare gli obiettivi);
- Determinare le necessità e i bisogni (fondi e spazi necessari. Risorse necessarie.
- Livello di qualità da raggiungere);
- Tracciare le strategie per la soluzione del problema.

La pianificazione è intesa come la creazione del modello di gestione del progetto per poterlo realizzare in modo congruente con gli obiettivi definiti a livello contrattuale (ossia rispettando i tempi di realizzazione e i costi di attuazione preventivati, ottimizzando l'impegno delle risorse disponibili e raggiungendo il livello di qualità definita).

La programmazione è intesa come l'attività volta ad ottimizzare le fasi di realizzazione attraverso il controllo dei tempi, dei costi e della qualità. Le due attività sono conseguenziali e si completano a vicenda.

PIANIFICAZIONE: OBIETTIVI

- Individuare le singole attività elementari controllabili e misurabili;
- Organizzare le attività su singoli livelli di dettaglio;
- Predisporre una struttura di sviluppo del progetto attraverso un piano di lavoro che riguardi tempi, costi, qualità e risorse;
- Stabilire un piano di controllo del processo progettuale e realizzativo;
- Definire metodi per il flusso delle informazioni.

PROGRAMMAZIONE: OBIETTIVI

- Raggiungere gli obiettivi temporali nel rispetto dei vincoli di costo e qualità prefissati;

3.3. Pianificazione tramite WBS

Gli approcci più avanzati al Project management prevedono, come prima azione, la stesura di una Work Breakdown Structure (WBS), che consiste in una struttura di decomposizione gerarchica dei progetti, secondo le attività necessarie al suo completamento, suddivisa su più livelli. Il numero dei livelli non è definibile a priori e dipende dalla complessità del progetto.

Le attività di progetto vengono suddivise e dettagliate, fino a raggiungere il grado di approfondimento necessario per un monitoraggio e controllo efficace, nei cosiddetti work package (WP, pacchetti di lavoro) per i quali deve essere possibile definire i singoli caratteri delle risorse umane e materiali necessari, durata e costo. Ogni work package, a sua volta, può essere costituito da uno o più task, compiti specifici legati alle singole attività. Tale approccio consente, come primo risultato, di definire il "percorso critico" (critical path) del progetto, ovvero la serie di attività la cui durata influisce direttamente sui tempi di completamento del progetto.

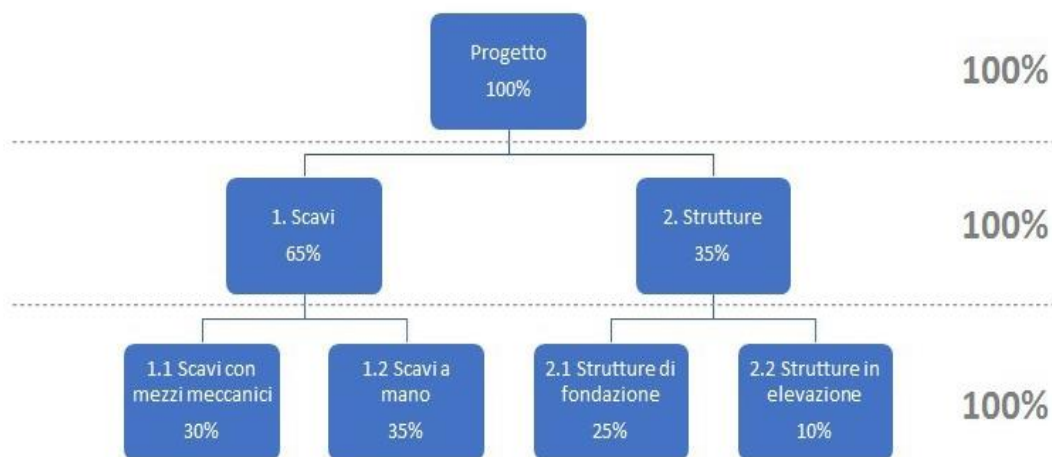


Figura 20: Esempio di schema grafico di Work Breakdown Structure (WBS)

<http://biblus.acca.it/focus/wbs-work-breakdown-structure-cose-si-utilizza/>

Oltre alla WBS esistono altre tipologie di destrutturazione dell'intervento, alcuni di essi sono:

- CBS - Cost Breakdown Structure: strutturazione e gestione dei costi secondo una logica di contabilità industriale;
- RBS - Risk Breakdown Structure: strutturazione e gestione dei rischi per la realizzazione del progetto;

- PBS - Product Breakdown Structure: scomposizione/ articolazione del progetto come obiettivo finale realizzato (progettazione, costruzione, approvazione, collaudo) oppure criterio funzionale, merceologico, spaziale;

- OBS - Organization Breakdown Structure: è l'articolazione organizzativa che evidenzia i singoli responsabili per ogni pacchetto elementare (WBE). Il suo utilizzo deve facilitare il Project manager nel lavoro di coordinamento e/o monitoraggio delle risorse umane.

Qualsiasi sia la tipologia di destrutturazione dell'intervento si andrà sempre, in maniera diretta o indiretta, a poter individuare una serie di attività che si susseguiranno per ottenere la realizzazione del progetto in questione. Se fosse possibile individuare per ogni sistema assemblato presente in opera le caratteristiche necessarie per essere considerate un'attività, allora si potrebbero direttamente usare come attività di programmazione il Gantt e il Pert, semplificando notevolmente la fase di realizzazione della programmazione direttamente successiva alla pianificazione. L'eventuale possibilità di programmazione temporale tramite il semplice concatenamento di sistemi assemblati porterebbe a una semplificazione non indifferente nell'esecuzione della programmazione.

3.4. Gestione dei tempi e dei costi nelle tecniche di programmazione

PROGRAMMAZIONE TEMPI

Per stabilire e controllare le fasi di avanzamento della realizzazione di un progetto la programmazione temporale è fondamentale. Attraverso la programmazione di tutte le attività individuate, assegnando le date di inizio, quelle di fine attività e le dipendenze, si determina il tempo necessario al completamento delle diverse fasi del progetto e si individuano quelle attività sulle quali focalizzarsi, per garantire il completamento del lavoro entro tempi stabiliti.

La programmazione temporale è uno strumento che permette la concatenazione tra le varie fasi progettuali, e l'integrazione tra tutte le parti attive interessate alla realizzazione del progetto. Le tecniche più diffuse utilizzate per la programmazione dei tempi sono le seguenti:

- Il Time Schedule: per la programmazione temporale basata sul diagramma a barre di Gantt.
- Il Critical Path Method (CPM), stime dei tempi deterministiche;
- Il Programme Evaluation and Review Technique (PERT), stime dei tempi probabilistiche;
- Il Metra Potential Method (MPM);

In edilizia per quanto riguarda la programmazione dei lavori in termini di tempi e costi si utilizza il software "Microsoft Project", il quale coniuga alcune caratteristiche importanti del Gantt (barre proporzionali alla durata della lavorazione, riferimenti temporali) ed il reticolo P.E.R.T. (precedenze e vincoli in genere), rende più agile e più flessibile la stessa programmazione.

L'obiettivo principale di un programma dei lavori è quello di poter fare delle previsioni attendibili per un intervento di costruzione per quanto riguarda gli aspetti operativi, organizzativi, gestionali ed economici. La programmazione è uno strumento utile sia in fase di promozione, progettazione e affidamento dell'appalto, lato committenza, sia in fase di costruzione, lato appaltatore. L'ultimo ha dei rapporti contrattuali, quindi economici, con la committenza e con i subappaltatori da lui chiamati. È un documento fondamentale e viene posto alla base della gara e vincola l'impresa esecutrice a rispettare i lavori da eseguire nei periodi prestabiliti. Deve descrivere nel dettaglio i tempi di esecuzione delle lavorazioni e gli importi relativi alle lavorazioni analizzate, ovviamente rispettando l'organizzazione della produzione dell'impresa esecutrice. Una volta che il cronoprogramma viene approvato dalla direzione lavori è vincolante per l'appaltatore che deve garantire la sequenza delle lavorazioni indicate all'interno del documento, rispettando i ritmi imposti per la produzione e la coordinazione tra le varie attività correlate.

Il diagramma di Gantt, dal nome di Henry L. Gantt, consiste in una rappresentazione grafica a barre in cui l'ascissa del grafico riporta i tempi (durate) delle varie attività del programma. Sull'ordinata vengono riportati i titoli delle attività con o senza uno specifico codice. Una buona codificazione è quella riferita alla WBS (Work Breakdown Structure). La lunghezza della barra è proporzionale alla durata dell'attività. Una volta conosciuta la data di inizio dei lavori in cantiere, si può assegnare a ogni lavorazione una data di inizio e una data di fine attività. I cronoprogrammi a barre quindi contengono informazioni riguardo a inizio, fine, durata delle attività, stato di avanzamento dei lavori e date di controllo del cronoprogramma per svolgere l'aggiornamento dello stato di avanzamento. Il principale vantaggio consiste nella facilità di lettura e nell'immediatezza della comprensione della situazione che viene rappresentata. D'altro canto non consente di definire i legami di dipendenza logica tra le varie attività, i vincoli da rispettare per consentire l'inizio di ogni attività, l'indicazione di quali siano le attività strategiche contenute all'interno dell'elaborato, gli eventuali ritardi che possono presentarsi durante lo svolgimento dell'attività. A questi aspetti vanno poi sommati gli aspetti critici riguardanti l'utilizzo di tale metodologia.

Inserire un numero elevato di attività all'interno del cronoprogramma non consente una facile lettura dell'elaborato e, in aggiunta, è molto difficile introdurre metodi matematici per la gestione delle risorse per ogni attività e non è un buono strumento per il controllo dello stato di avanzamento lavori data la mancanza di legami logici tra le varie attività presenti.

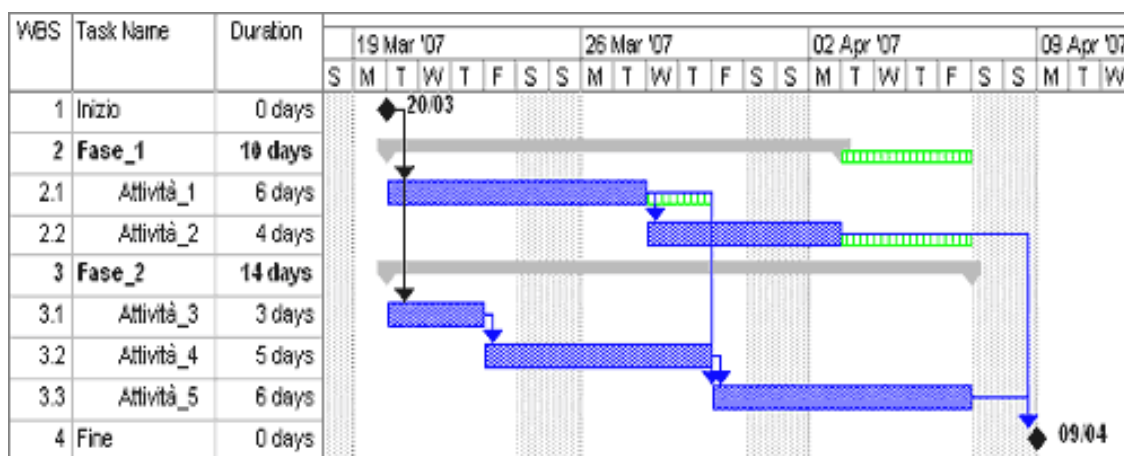


Figura 21: Esempio di diagramma a barre - Gantt

Lo scopo di tale rappresentazione è:

- Definire il "cosa fare" in una certa quantità di tempo (durata);
- Definire un riferimento per il controllo dell'avanzamento;
- Definire eventi o date chiave (Milestones).

Il metodo del Critical Path Method (CPM) nasce con il duplice obiettivo di ottimizzare tempi e costi, ma successivamente la pratica della programmazione ha suddiviso il metodo in due strumenti applicativi separati, uno per il controllo esclusivamente dei tempi (il CPM) e uno per il controllo dei costi (CPM-COST). Con lo sviluppo del metodo PERT, l'uso di queste due tecniche differenti ha causato delle successive evoluzioni, per cui le differenze di impostazione sono scomparse, facendo nascere il cosiddetto metodo I-J. Questo metodo aggiunge al CPM classico la possibilità di definire i tempi di evento, tipica del PERT, pur mantenendo l'impostazione deterministica ed operativa del CPM originario, comprensiva della chiara definizione degli scorrimenti per le attività.

Il metodo CPM nella forma I-J, è caratterizzato da un reticolo Activity on Arc (AOA) e da un algoritmo deterministico (DET) e la sua rappresentazione grafica è costituita da un digrafo in cui gli archi orientati, ovvero le frecce, rappresentano le attività del progetto ed indicano anche la progressione

delle operazioni in base al flusso del tempo. Il reticolo AOA (Activity on Arc) è un reticolo in cui le attività elementari sono rappresentati dagli archi del grafo e i nodi rappresentano gli eventi rappresentativi degli stati di inizio e di fine delle attività.

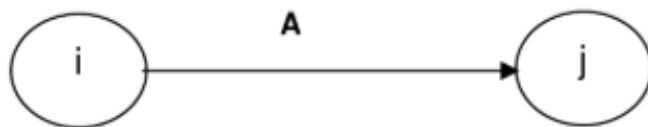


Figura 22: Esempio di attività "A" o "ij"

L'evento alla sinistra dell'attività, posto nella coda della freccia, si chiama evento di inizio e viene indicato con le lettere "i" (o "I"), mentre quello all'estrema destra, nella punta della freccia, si chiama evento di fine e si indica con la lettera "j" (o "J"). Ne consegue che ogni attività del reticolo è univocamente individuata da una coppia di eventi, i e j, per cui abbiamo l'identificazione anche dell'attività. Considerando una catena di attività in cui A è il predecessore di B, allora A e B hanno in comune il nodo j che costituisce contemporaneamente l'evento di fine dell'attività A ma anche l'evento iniziale dell'attività B. La regola generale è che il nodo j di un'attività precedente è anche il nodo i dell'attività susseguente. Unica eccezione sono l'evento di inizio del reticolo, detto anche sorgente, in cui non termina nessuna attività, e l'evento finale del reticolo, detto anche pozzo, da cui non inizia alcuna attività.

Per attività si intende un'operazione del processo costruttivo che richiede consumo di tempo e risorse produttive. Fa eccezione l'attività fittizia che non richiede il consumo né di tempo né di risorse, ma rappresenta solo una dipendenza logica, mentre per l'evento rappresenta la situazione che si crea al termine di una o più attività. Non richiede consumo di tempo o di risorsa ma è caratterizzato da un istante, o una data, di accadimento. Le ipotesi fondamentali per la realizzazione del modello CPM sono quattro:

- Le frecce indicano il verso di percorrenza del reticolo, ovvero quella della progressione temporale delle attività;
- Ogni freccia deve collegare due eventi distinti, detti I e J. L'eccezione a questa regola riguardano gli eventi iniziali e finali del reticolo.
- Dato che il tempo non può tornare indietro non sono permessi anelli o circuiti nel reticolo che consistono in una successione di frecce che ritornano all'evento di partenza.
- La lunghezza della freccia non è proporzionale alla durata dell'attività.

Le regole fondamentali per il disegno del reticolo sono tre:

- Regola di dipendenza logica delle attività: poste due attività successive A e B, l'attività susseguente B non può iniziare se non termina l'attività precedente A.



Figura 23: Regola di dipendenza logica

- L'attività A è l'attività precedente alla realizzazione dell'attività B, e si dice predecessore o antenato di B, e B è l'attività successiva alla realizzazione di A e si dice successore o discendente di A
- Regola di convergenza con logica di tipo "and": date le attività A, B e C ovvero ij, yj e jk legate allo stesso nodo j, l'attività C non può iniziare se non sono terminate entrambe le attività precedenti A e B. L'evento j è detto evento di unione.

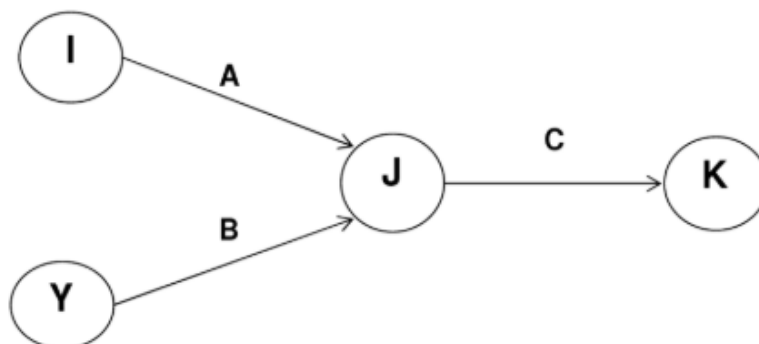


Figura 24: Regola di convergenza

- Regola di divergenza: date tre attività A, B e C, ovvero ij, jm e jk, entrambe le attività susseguenti B e C non possono iniziare se non è terminata l'attività precedente A. l'evento j è chiamato evento di separazione.

È necessario aggiungere altre regole di buona pratica che consentono la stesura del reticolo e ne facilitano la lettura. In primo luogo è necessario, per definire la logica del reticolo, introdurre delle attività fittizie che stabiliscono solo un ordine di precedenza tra gli eventi, ovvero una dipendenza

logica tra le attività. Per questo motivo l'attività fittizia viene anche nominata vincolo e la sua durata è nulla. Le attività fittizie vengono indicate con una freccia tratteggiata e serve, quindi, a vincolare la successione logica di due eventi.

Per ogni reticolo si definisce cammino critico, il percorso più "lungo", ovvero quello con durata maggiore, che conduce dall'evento iniziale a quello finale.

Schedulazione delle attività e degli eventi

Consideriamo l'attività, la cui esecuzione è compresa tra i due eventi. Gli eventi sono caratterizzati da un tempo di accadimento, ovvero da un istante di tempo in cui si realizzano, mentre l'attività è caratterizzata da un tempo di inizio e da un tempo di fine, associati ad una durata di esecuzione dell'attività. L'algoritmo calcolerà per ogni evento due tempi di accadimenti detti tempo minimo e tempo massimo di evento, mentre per ogni attività, caratterizzata da una durata prefissata e costante, calcolerà due tempi per l'inizio e due tempi per la fine attività, detti tempo minimo di inizio e tempo massimo di inizio, tempo minimo di fine e tempo massimo di fine.

Per l'evento si ha:

- Tempo minimo dell'evento: è il tempo al più presto in cui si può realizzare l'evento, ovvero è il tempo più vicino all'origine dei tempi, quindi più vicino all'inizio del processo produttivo;
- Tempo massimo dell'evento: è il tempo al più tardi in cui si può realizzare l'evento, ovvero è il tempo più ritardato possibile dall'origine del processo produttivo.

Prendendo ora in considerazione l'attività, possono essere calcolati quattro tempi, due minimi e due massimi. I due tempi minimi, ovvero al più presto:

- Tempo minimo di inizio attività, ES (Early Start): tempo al più presto in cui si può svolgere l'attività;
- Tempo minimo di fine attività, EF (Early Finish): tempo al più presto in cui si può finire l'attività;

e due tempi massimo, ovvero al più tardi:

- Tempo massimo di inizio attività, LS (Late Start): tempo più ritardato possibile in cui può iniziare l'attività, senza tardare la data finale di ultimazione dei lavori;
- Tempo massimo di fine attività, LF (Late Finish): tempo più ritardato possibile in cui può finire l'attività, senza tardare la data finale di ultimazione dei lavori.

L'analisi temporale con algoritmo I-J

L'algoritmo per calcolare i tempi è in realtà formato da due algoritmi differenti: il primo genera i tempi minimi e si chiama analisi in avanti, il secondo genera i tempi massimi e si chiama analisi all'indietro.

Analisi in avanti

Fornisce i tempi minimi degli eventi e delle attività, ovvero fornisce la schedulazione al più presto, detta ASAP (As Soon As Possible). Questo algoritmo parte dal primo evento e percorre il reticolo nel senso della progressione temporale sino all'evento finale, calcolando i tempi minimi, che equivale a trovare il percorso più lungo tra tutti i percorsi possibili che congiungono il nodo iniziale con quello finale.

L'analisi in avanti è costituita da quattro passi:

- Il tempo minimo del primo evento del reticolo è uguale ad un valore qualsiasi S fornito dal programmatore;
- Tutte le attività che hanno l'evento i -esimo come evento iniziale, hanno come tempo minimo di inizio, il tempo uguale al tempo minimo dell'evento iniziale;
- Il tempo minimo di fine attività viene calcolato come la somma del tempo minimo di inizio attività e la durata dell'attività stessa.
- Il tempo minimo dell'evento finale è uguale a massimo dei valori di tempo minimo di tutte le attività che terminano nell'evento finale stesso.

Analisi all'indietro

È un algoritmo che fornisce i tempi massimi degli eventi e delle attività, ovvero la schedulazione al più tardi ALAP (As Late As Possible). Questo algoritmo parte dall'evento finale e percorre il reticolo nel senso opposto a quello della progressione temporale sino al primo evento, calcolando tutti i tempi massimi.

L'analisi all'indietro, come la precedente, è costituita da quattro passi:

- Il tempo massimo dell'ultimo evento è uguale ad un tempo T , imposto dal programmatore, che è il tempo massimo fissato per l'esecuzione del processo;
- Il tempo massimo di fine di tutte le attività che hanno come evento l'evento finale stesso, è uguale al tempo massimo dell'evento finale;

- Il tempo massimo di inizio attività è pari alla differenza tra il tempo massimo di fine attività e la durata dell'attività stessa;
- Il tempo massimo dell'evento di inizio di tutte le attività è uguale al minimo tra tutti i tempi massimi di inizio delle attività.

Si riporta un breve esempio esplicativo per chiarire i concetti sopra citati.

ES	EF
Codice, Attività Durata	
LS	LF

Tabella 1: Esempio analisi temporale

Si consideri la tabella con le seguenti attività:

Codice	Descrizione Attività	Durata	Attività precedente	Vincolo
1	Start	0	-	-
2	A	5	1	FS
3	B	4	1	FS
4	C	6	1	FS
5	D	5	3	FS
6	E	5	3	FS
7	F	10	2, 5	FS
8	G	7	3	FS
9	H	2	4, 6	FS
10	End	0	7, 8, 9	FS

Tabella 2: Esempio Codice, Attività, Durata

Il reticolo che si ottiene sviluppandolo secondo il metodo sopra descritto è il seguente:

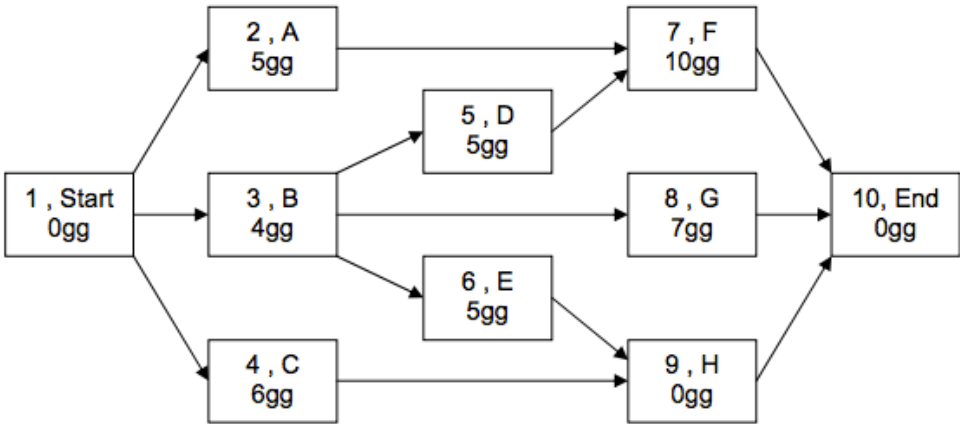


Figura 25: Esempio reticolo

Una volta calcolate tutte le date, il reticolo completo è il seguente:

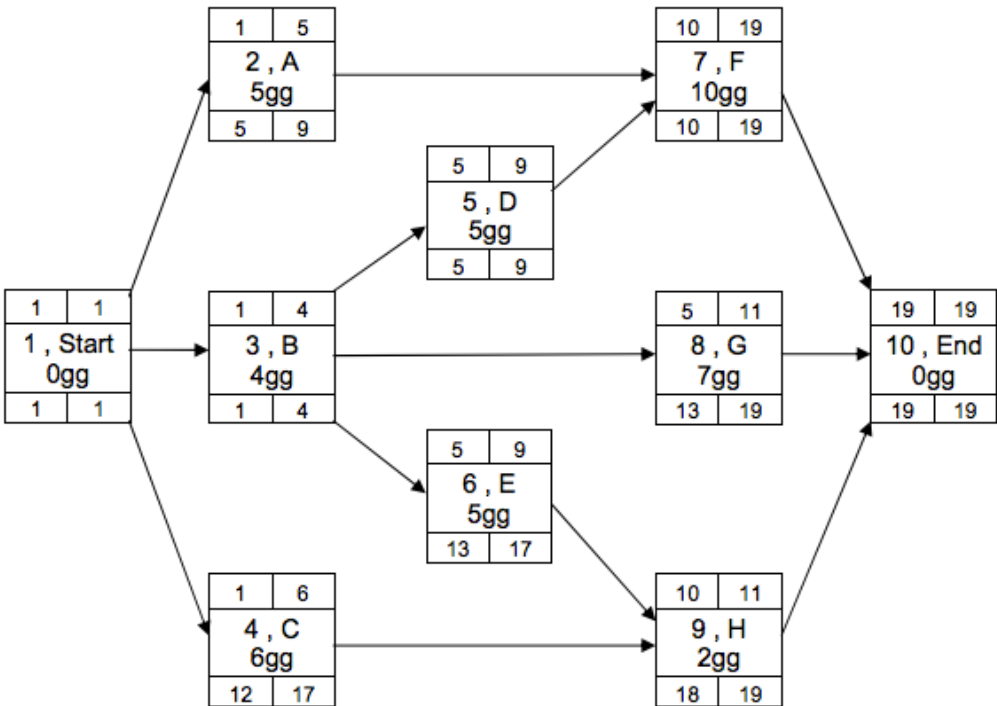


Figura 26: Esempio reticolo finale

Il modello PERT è un digrafo finito e aciclico in cui le frecce orientate sono definite come le attività e i nodi sono definiti come eventi. Associata ad ogni attività è una variabile non negativa, calcolata in modo probabilistico, che è detta durata dell'attività. Ogni attività è compresa tra due eventi e determina un verso di percorrenza. Esistono due eventi speciali che sono l'evento iniziale e l'evento finale: nessuna attività termina nell'evento iniziale, dunque non ha predecessori, e nessuna attività parte dall'evento finale, dunque non ha successori. Si definisce cammino critico il percorso di maggiore durata che collega l'evento iniziale con quello finale. Il PERT è uno strumento che serve a stimare la probabilità di raggiungere determinati obiettivi entro determinate date prefissate. Quando l'incertezza è elevata e i tempi assumono un carattere fondamentale è necessario uno strumento che permetta di stimare i tempi e valutare le incertezze nelle durate delle attività. Per fare ciò è necessario effettuare considerazioni di tipo probabilistico.

Il PERT si concentra sulla data di completamento delle attività stesse, ovvero sugli eventi. Una volta che viene determinata la logica del reticolo, ovvero quando vengono individuate le relazioni di fine-inizio tra le varie attività, le variazioni tra le attività sono fenomeni di tipo stocastico.

Il modello PERT è formato da un reticolo e da un algoritmo di calcolo. Il reticolo utilizzato è di tipo deterministico con legame tra le attività di tipo Fine-Inizio e struttura con le attività rappresentate dalle frecce o dai nodi; l'algoritmo di calcolo è di tipo probabilistico sia per la stima della durata che per definire le probabilità relative alla realizzazione degli eventi.

I vantaggi sono quelli di avere uno strumento di relativa semplicità di impiego, facile da utilizzare e fornisce tutte le informazioni del cammino critico. Gli svantaggi sono più legati alle applicazioni pratiche, poiché è uno strumento di analisi del rischio in relazione all'evoluzione temporale del progetto.

Calcolo della durata attesa

La prima ipotesi è che le varie durate di esecuzione siano variabili indipendenti una dall'altra. Questo significa che esse appartengono ad un campione monodimensionale in cui la variabile durata può essere considerata come una variabile casuale. Questa ipotesi consente di rappresentare la variabile durata con una funzione che ne rappresenta la distribuzione di frequenza.

La seconda ipotesi è che è possibile stimare i tempi di esecuzione di ogni attività. Questi valori sono da valutare empiricamente, tramite dati storici o interviste e sono:

- Valore ottimistico "a": è il valore che si può ottenere quando in determinate condizioni di risorse si sommano in senso positivo una serie di circostanze non prevedibili, risulta il miglior valore ipotizzabile, ovvero la durata minima dell'attività;
- Valore normale "n": è il valore che si può ottenere quando, nelle stesse condizioni di risorse, le circostanze negative compensino mediamente quelle positive, è il valore che si ottiene con maggiore frequenza se si ripete la stessa attività molte volte;
- Valore pessimistico "b": è il valore che si può ottenere quando, in determinate condizioni di risorse, si sommano in senso negativo una serie di circostanze non prevedibili, risulta essere il peggiore valore ipotizzabile determinando quindi la durata maggiore da attribuire all'attività.

Per la stima di questi valori devono restare costanti gli elementi fondamentali per l'esecuzione dell'attività come la quantità di risorse umane, il numero e il tipo di attrezzature impiegate, le condizioni generali del contesto produttivo.

Accettate queste ipotesi, per ogni attività conosciamo i seguenti dati:

- Durata dell'attività, rappresentabile con una curva di distribuzione di frequenza;
- Moda della distribuzione di frequenza $M_o = n$;
- Campo di variazione è il Range = $a - b$.

Noti questi dati possiamo stimare gli altri due parametri fondamentali ovvero il valore medio (T_e) della durata dell'attività e la deviazione standard (σ) che definiscono la forma della distribuzione.

La deviazione standard è pari a:

$$\sigma = \frac{(b - a)}{6}$$

di conseguenza la varianza σ^2 è pari a:

$$\sigma^2 = \left(\frac{(b - a)}{6}\right)^2$$

Nota la distribuzione il valore medio della durata è calcolato con una semplice formula approssimata di facile applicazione:

$$t_e = \frac{a + 4n + b}{6}$$

La struttura del reticolo

Data una lista di attività, una volta note le durate attese, le varianze e individuati i predecessori, si può procedere alla definizione del reticolo. La struttura è del tipo AOA. Le regole sono le stesse già viste per il reticolo CPM con il legame fine – inizio come l'unico legame possibile tra le attività. Le regole fondamentali sono:

- Regola di dipendenza logica delle attività: poste due attività successive e legate dallo stesso evento, l'attività susseguente non può iniziare se non è terminata l'attività precedente;
- Regola di convergenza: date tre attività, legate dallo stesso nodo, l'attività successiva non può iniziare se non sono terminate entrambe le attività precedenti;
- Regola della divergenza: date tre attività. Le due successive non possono incominciare se non è terminata l'attività precedente.

L'algoritmo per il calcolo dei tempi è formato da due parti, l'analisi in avanti e l'analisi all'indietro.

Analisi in avanti

Permette di determinare i tempi medi minimi di evento e la durata totale media minima del progetto. Si procede dall'evento iniziale e procedendo secondo il verso delle frecce sino ad arrivare all'evento finale. Questa tipologia di analisi è costituita da due regole:

- Il tempo minimo dell'evento iniziale del reticolo è uguale al tempo di inizio del processo;
- Poiché nessun evento si può verificare finché non sono terminate tutte le attività precedenti, il tempo minimo di evento di tutti i rimanenti eventi del reticolo è uguale al maggiore dei tempi calcolati sommando ai tempi minimi le durate attese.

Analisi all'indietro

Permette di calcolare i tempi massimi medi di evento. Si esegue ripercorrendo a ritroso il reticolo, nel senso opposto a quello indicato dalle frecce partendo dall'evento finale sino a tornare a quello iniziale. Anche questa tipologia di analisi è costituita da due regole:

- Il tempo massimo dell'evento finale del reticolo è uguale al tempo di completamento del processo;
- Poiché nessun evento si può verificare dopo che siano iniziate tutte le attività successive, procedendo a ritroso avremo che il tempo massimo dell'evento è uguale al minore dei tempi calcolati sottraendo ai tempi massimi degli eventi successivi le durate attese.

Si riporta, anche in questo caso, un esempio applicativo per la tecnica PERT.

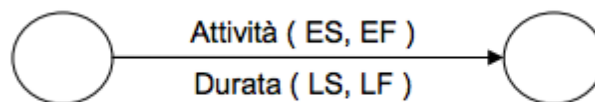


Figura 27: Esempio P.E.R.T.

Consideriamo la seguente tabella delle attività:

Descrizione Attività	Durata	Attività precedente	Vincolo
A	3	-	-
B	4	-	-
C	6	A	FS
D	4	A	FS
E	5	B	FS
F	4	C	FS
G	7	D, E	FS

Tabella 3: Esempio attività PERT

Il reticolo che si ottiene sviluppandolo secondo il metodo sopra descritto è il seguente:

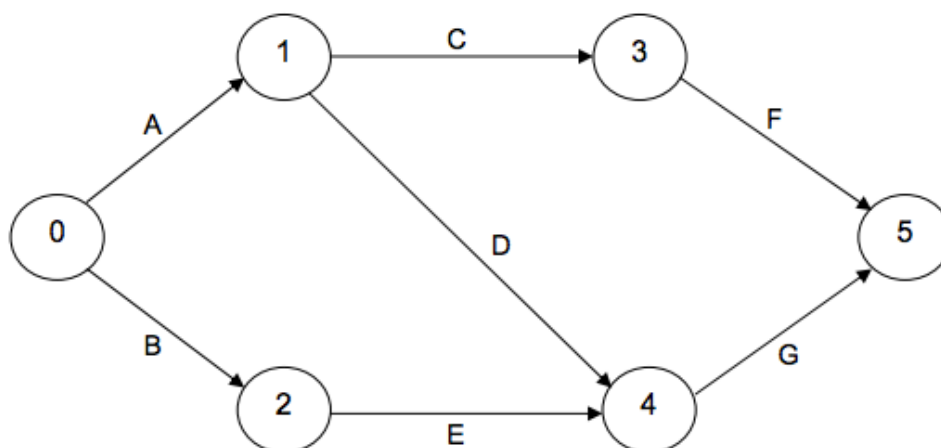


Figura 28: Esempio reticolo PERT

Una volta calcolate tutte le date, il reticolo completo è il seguente:

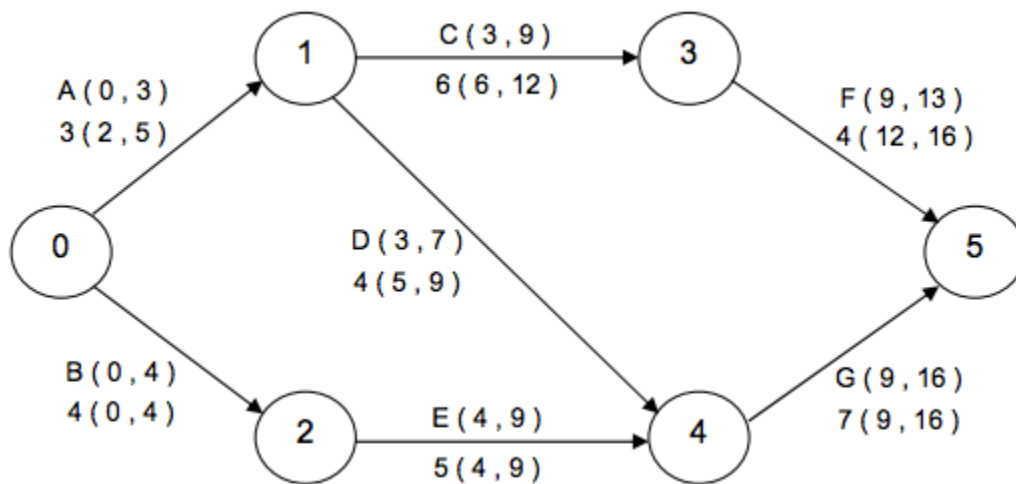


Figura 29: Esempio finale reticolo PERT

Le tecniche reticolari, come il PERT, superiscono ai limiti dei diagrammi a barre di Gantt. Si basano su un modello logico-matematico del progetto chiamato reticolo (network), dove le attività da svolgere vengono interconnesse tra di loro. Il reticolo rappresenta l'organizzazione delle attività di progetto e le reciproche dipendenze, chiamate legami attraverso una sequenza logica.

Attraverso la W.B.S. vengono individuate tutte le attività e si determinano le loro date di inizio e fine (durate) e i vincoli logici di successione e interdipendenza (legami).

La rappresentazione grafica del reticolo avviene attraverso un diagramma a frecce. Il reticolo è la rappresentazione grafica delle attività costituenti il progetto e dei loro legami logici dove:

- Le attività sono rappresentate da nodi
- I legami sono rappresentate da archi orientati (frecce)
- Non esistono cammini chiusi

In sintesi:

- Il PERT/CPM visualizza meglio i collegamenti tra le varie attività e consente di valutare più facilmente i percorsi critici.
- Il Gantt offre un'idea più chiara sull'andamento del progetto e con opportune integrazioni permette di controllare meglio i budget di risorse e conseguentemente di costi.

La rappresentazione grafica Gantt unita ai collegamenti di varia natura tra le attività realizzanti la programmazione consentono di ottenere una schedulazione di facile lettura e controllo, che si concretizza in un MPM, questo consente una miglior gestione dal punto di vista dei tempi che dei costi. Inoltre consente di valutare con maggior facilità i percorsi critici e il budget delle risorse.

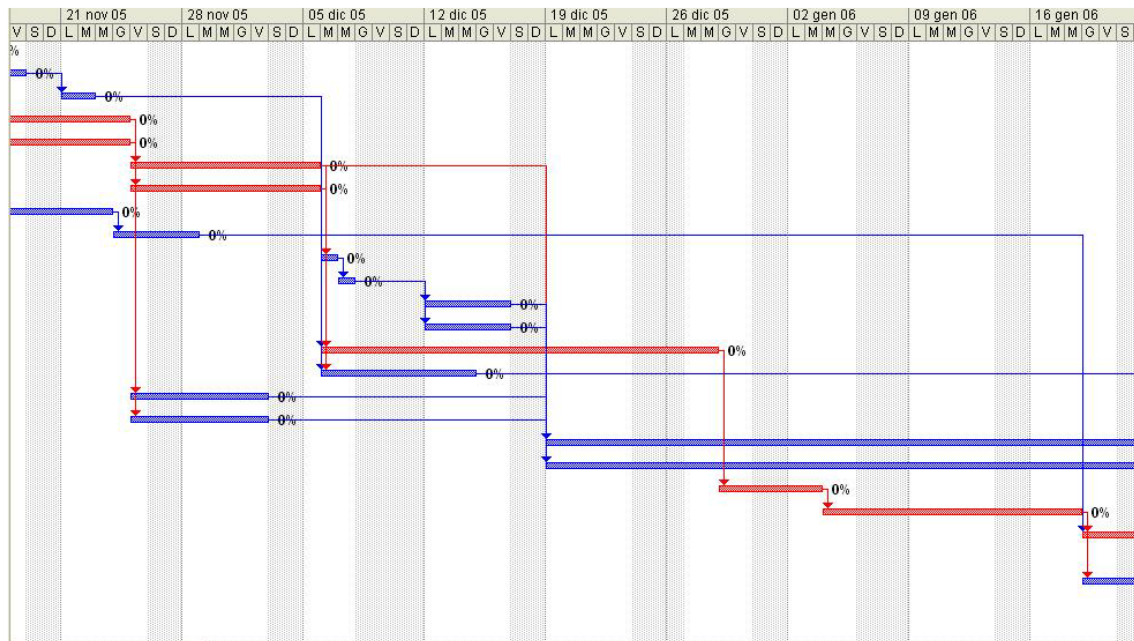


Figura 30: Esempio di MPM

PROGRAMMAZIONE COSTI

La programmazione dei tempi e la programmazione dei costi di un progetto sono attività strettamente correlate tra loro ed entrambe fondamentali per una efficace pianificazione del risultato finale.

La programmazione dei tempi è indispensabile per quella dei costi poiché l'aumento di questi ultimi è direttamente proporzionale all'entità dei ritardi che possono subire le diverse attività nella realizzazione di un progetto, e i suoi obiettivi sono:

- Prevedere in anticipo i costi del progetto;
- Impostare l'andamento del cash-flow (flusso dei pagamenti);
- Predisporre dei riferimenti quale base per operare le verifiche atte a stabilire e quantificare l'avanzamento in fase di attuazione del progetto.

3.5. Legami tra attività

Come già detto precedentemente le attività all'interno di tecniche di programmazione quali il Pert e L'MPM sono legate tra loro con vari tipi di legami. Le relazioni tra le attività consentono di modificare il percorso critico (serie di attività che con la loro durata e sequenza condizionano la data finale del progetto) e di ridurre la durata della programmazione. I legami possono essere di 4 tipi:

- Legame "Finish to Start" o anche "Fine-Inizio"

Significa che una determinata attività può iniziare se e solo se ne è terminata un'altra. Questa tipologia di legame è la più presente all'interno di programmazioni in ambito edilizio. Un esempio è quello della stesura dell'intonaco che avviene solo a compimento della posa dei forati facenti parte la partizione.

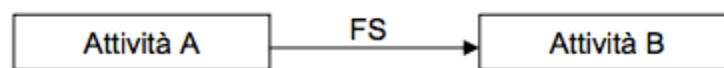


Figura 31: Legame Fine-Inizio

- Legame "Finish to Finish" o anche "Fine-Fine"

Significa che la fine un'attività è subordinata all'avvenuta fine di un'altra attività. Questo tipo di legame tra attività è molto utilizzato nella realizzazione degli impianti, per esempio il reinterro dei tubi della fognatura non potrà compiersi totalmente prima della completa posa dei tubi stessi.



Figura 32: Legame Fine-Inizio

- Legame "Start to Start" o anche "Inizio-Inizio".

Significa che l'inizio di un'attività è subordinato all'avvenuto inizio di un'altra attività. Un esempio di questo tipo di legame possiamo trovarlo, ipotizzando un leggero delay positivo (slittamento di uno/due giorni dell'attività 2), nella fase di realizzazione della struttura, dove ad esempio la cassetatura di un qualsiasi sistema assemblato strutturale quali trave, pilastro, ecc (attività A), può essere immediatamente seguita dalla realizzazione dell'armatura da un'altra squadra di operatori (attività B).

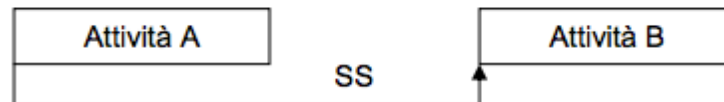


Figura 33: Legame Inizio-Inizio

- Legame "Start to Finish" o anche "Inizio-Fine".

Significa che l'inizio di un'attività è subordinato alla fine di un'altra. Questo tipo di legame non è molto utilizzato, anche perché se scambiamo le due attività, questo non è nient'altro che un legame finish to start. Con una corretta pianificazione non dovrebbe esserci alcun bisogno di utilizzare questo quarto tipo di legame.



Figura 34: Legame Inizio-Fine

L'individuazione dei vari collegamenti, e di conseguenza del cammino critico permette, muovendosi a ritroso dalla data di chiusura attesa del progetto, di evidenziare lo spazio di possibile slittamento di ogni attività non facente parte del cammino critico. Quindi tutte le attività non facenti parte del cammino critico potranno parzialmente slittare senza ritardare per questo la durata complessiva del progetto.

È evidente che per le attività poste sul cammino critico, non essendo possibile operare slittamenti (che ritarderebbero l'intero progetto), inizio e fine di massimo ritardo coincidono con inizio e fine di massimo anticipo.

3.6. Comunicazione/collaborazione tra le figure chiave dell'intervento

Qualsiasi sia la tipologia di destrutturazione e/o di programmazione dell'intervento si andrà sempre, in maniera diretta o indiretta, a individuare una serie di attività che si susseguiranno per ottenere la realizzazione del progetto in questione. Un'attività per essere considerata tale ed essere inclusa nel piano di lavoro deve rispondere a tre caratteristiche essenziali:

- Essere un'unità di lavoro elementare precisamente definibile e limitata;
- Essere quantificabile in termini temporali (avere un inizio ed una fine individuabili);
- Essere quantificabile in relazione alle risorse necessarie per il suo svolgimento: persone, materiali, finanziamenti.

Uno degli scopi della progettazione è quello di garantire che l'edificio nel suo complesso e in ogni sua singola parte, sia in grado di fornire, per tutto l'arco della sua vita utile, un corretto funzionamento e il raggiungimento di determinati standard qualitativi e quantitativi. Questo si traduce quindi, anche per quanto riguarda la vecchia concezione della progettazione, nell'identificare e unire in opera una serie di strati (elementi in opera) che consentono la realizzazione di questi obiettivi. Questa valutazione, effettuata dal progettista, viene eseguita in base a una serie di fattori caratterizzanti il sistema assemblato, che sono:

- Prestazioni (isolamento termico/acustico, etc) a sistema realizzato e in previsione del ciclo di vita dell'edificio
- Costo di realizzazione del sistema
- Costo e facilità di manutenzione del sistema
- Tempo di vita utile
- Tempo di realizzazione

Come è intuibile le caratteristiche di un sistema assemblato non sono altro che l'unione delle caratteristiche dei singoli strati facenti parte il sistema, questo però ad eccezione del tempo di realizzazione, visto che quasi tutti, se non addirittura tutti, i sistemi assemblati sono realizzati da squadre operative con diverse mansioni (posa laterizi, posa cappotto, pittura, intonaci, etc). Questa disarticolazione d'esecuzione e l'elevato numero di sistemi assemblati realizzati durante i lavori portano quindi ad uno slittamento del tempo di esecuzione di tutti i sistemi assemblati. È importante sottolineare come non solo in passato, ma anche nel presente, il mancato o l'errato utilizzo della tecnologia informatica nel mondo delle costruzioni, sia una delle principali cause dell'incongruenze

che si hanno rispetto agli impegni contrattuali. Il BIM è uno strumento potentissimo, ma se non tutte le figure chiave presenti nel progetto hanno un'idea chiara di cosa sia e di come si utilizzi questo strumento, il risultato e tutta l'ottimizzazione dei processi non sarà mai all'altezza delle aspettative. Quindi è importante che vi sia formazione e, non da meno, comunicazione fra i vari professionisti, in modo tale da massimizzare tutti i processi che portano al compimento del progetto. Come indicato precedentemente tra le varie fasi preliminare, progettuale e d'esecuzione si colloca una fase intermedia, "il processo decisionale", definita fase di pianificazione e programmazione. Questa è fondamentale per la buona riuscita del lavoro, in quanto ogni progetto, essendo unico, avrà delle caratteristiche intrinseche che richiederanno un'approfondita analisi.

- Pianificare = "COME"
- Programmare = "QUANDO"

3.7. Pianificare tramite BIM

Con il termine pianificazione si intende l'analisi approfondita del progetto, andando ad individuare le attività elementari necessarie per la realizzazione dell'opera e dell'individuazione dei vincoli di precedenza o successione. Gli scopi della pianificazione dei lavori sono quindi riassunti in:

- Suddivisione in pacchetti di lavoro
- Definizione dei centri di controllo
- Stime e definizione del budget e delle risorse

Lo strumento più utilizzato e più utile per eseguire questa fase del processo decisionale è la W.B.S (Work Breakdown Structure), che come già detto è una destrutturazione gerarchica dei lavori sviluppata ad albero. Un fattore importante nella realizzazione della WBS è la corretta codifica di ogni singola attività, questo permette un controllo e un'individuazione diretta dell'attività presa in considerazione. Si deve prestare particolare attenzione alla realizzazione della WBS, perché sbagliarla può compromettere la buona riuscita del progetto, infatti tutta la fase di programmazione successiva si costruisce appoggiandosi totalmente su di essa. La WBS è quello strumento che oltre ad ottenere una destrutturazione con una certa logica dell'edificio, ci consente di quantificare il materiale/semilavorato/elemento necessario per la realizzazione del singolo strato facente parte il sistema assemblato complesso. Questo tipo di informazione è estremamente importante, se non necessaria, nella tipologia di progetto tradizionale. Senza queste informazioni non potremmo essere

in grado di programmare i tempi e le risorse (quindi i costi) di ogni singola attività. La capacità della tecnologia BIM in fase progettuale, appoggiandosi a un database ben strutturato, è di fornire ai progettisti qualsiasi informazione di cui abbiano bisogno, riducendo drasticamente il margine di errore.

3.8. Programmare tramite BIM

Riprendendo il discorso del paragrafo precedente, la base di realizzazione di un sistema assemblato complesso è obbligatoriamente frammentata, poiché realizzata sempre da diversi operatori, spesso subappaltati dalle imprese di costruzione, che lavorano, per vincoli temporali di natura fisica o fittizia, in successione non continua, ma frammentata. Sappiamo però che i vincoli temporali di natura fisica sono facilmente individuabili e non possono in alcun modo essere aggirati. Per fare un esempio l'intonaco di una partizione interna andrà sicuramente gettato e tirato successivamente alla posa dei forati (vincolo di successione fisica interno al sistema), alla realizzazione delle tracce e alla conseguente posa in opera dell'impiantistica (vincoli di successione fisica esterni al sistema). Per quanto riguarda invece i vincoli di natura fittizia, essi si basano su una tipologia organizzativa che varia da impresa a impresa. Un esempio potrebbe essere quello riguardante la realizzazione delle partizioni interne di un edificio di due piani. Una volta realizzate la posa dei forati di quelle del piano primo si potrebbe procedere secondo due strade, la prima quella di effettuare la posa di tutte quelle del piano secondo, e successivamente procedere con la realizzazione delle tracce e la posa degli impianti, ipotesi che potrebbe essere plausibile se la/le stessa/e squadre di lavoro sono assegnate per la realizzazione sia della posa dei forati che per la realizzazione delle tracce (caratterizzati da un semplice vincolo di fine/inizio attività senza delay). Un'altra strada potrebbe essere quella che mentre una squadra posa i forati delle partizioni del piano secondo, una seconda realizza le tracce e procede alla posa degli impianti, diminuendo drasticamente i tempi di realizzazione della partizione complessiva (vincolo di fine/inizio con delay). Tutti questi dubbi e incertezze possono essere drasticamente diminuiti grazie all'utilizzo del BIM. Infatti andando a realizzare un progetto con oggetti BIM, con al loro interno ogni informazione necessaria, sarà possibile ricavare un diagramma MPM, che affiancato all'utilizzo di software BIM oriented, fornirà a tutto il team di progettazione e agli stakeholder una visione chiara dell'andamento dei valori sin dalla fase preliminare del progetto. In questa maniera verrà ottimizzata tutta la fase decisionale, andando a ridurre ogni dubbio e incertezza, diminuendo anche il rischio di dover ricorrere a riserve.

4. Introduzione al caso studio

L'importanza fondamentale dell'interoperabilità per l'utilizzo di un nuovo metodo integrato che consenta la comunicazione tra modellazione e simulazione architettonica è stata dimostrata durante la trattazione.

La centralità di questa tematica è stata riscontrata anche durante l'esperienza presso la società BMS Progetti di Milano, dove i maggiori dubbi si concentrano nella curiosità di conoscere cosa praticamente i software BIM possano fare.

L'incertezza deriva dal fatto che il mondo dell'information modeling è in continua evoluzione ed è quindi difficile stare al passo con i continui aggiornamenti e le nuove versioni di programmi e tools. Inoltre il marketing delle varie case madre di software, a volte, confonde un po' le idee sulle potenzialità effettive delle proprie applicazioni, propagando prestazioni che spesso si rivelano utopiche in realtà lavorative.

Nella voglia di sciogliere questi dubbi e capire fino a che punto siano interoperabili software di modellazione e di simulazione architettonica, risiede la motivazione principale che ha indotto a compiere questa ricerca. Nel dettaglio, venendo incontro ad esigenze aziendali di BMS Progetti, si è deciso di studiare l'interoperabilità tra i diversi software BIM, con l'intento di identificare un metodo efficace per l'integrazione parametrica con il computo metrico estimativo (quinta dimensione 5D) e la gestione dei tempi (quarta dimensione 4D), analizzando le criticità e i vantaggi.

L'obiettivo principale prefissato con l'azienda sopra citata, è stato quello di arrivare ad un reale processo di computazione e gestione dei tempi, riproponibile in progetti futuri, utilizzando programmi presenti sul mercato italiano.

4.1. Progetto: Torre Richard

Il caso studio analizzato nel lavoro di tesi, consiste in una riqualificazione della terza Torre G. Richard a Milano (denominata anche Torre C), destinata ad uso uffici. Le Torri Richard sono simbolo di edilizia degli anni Ottanta, ormai in decadenza e un tempo sede della fabbrica di ceramiche di Richard Ginori. La serie di edifici ricoperti da vetri a specchio include quattro "torri" da 15 piani (più un ultimo piano trasformato in terrazzo) e tre "cubotti" da sei piani, su cui sono ormai evidenti segni di logoramento.



Figura 35: Torri Richard



Figura 36: Torri Richard



Figura 37: Torri Richard

Il progetto è stato sviluppato dalla società di progettazione BMS di Milano, la quale, per gentile concessione ci ha fornito la modellazione tridimensionale BIM 3D ed il relativo computo metrico estimativo. Il progetto è stato realizzato con un modello BIM multidisciplinare e integrato, approfondito fino ad un complessivo LOI D E LOG D secondo la UNI 11337-4.

Questo approccio ha reso efficiente e snello lo sviluppo del progetto e il coordinamento tra le diverse discipline, architettoniche, strutturali e MEP. Tutte le fasi progettuali sono state quindi coniugate in un unico modello, dalla gestione del progetto architettonico alle pratiche amministrative, fino all'implementazione di tutte le richieste di adeguamento e finalizzazione del progetto.

L'utilizzo del BIM, ha permesso di automatizzare le fasi di lavorazione che non sarebbero state possibili se non tramite ottimizzazioni e verifiche in cantiere con l'intervento diretto di installatori, fornitori e personale specifico. Questo ha incrementato la qualità del prodotto e la sua gestione, con una migliore efficacia degli aspetti della progettazione e della realizzazione.



Figura 38: Rendering Torre Richard (BMS Progetti)

4.2. Criticità del ciclo BIM non integrato

Le analisi e gli studi effettuati, sono stati fondamentali al fine di analizzare un tema del quale, in Italia, si discute molto ma che risulta essere ancora pieno di discordanze e incomprensioni, sebbene abbia un potenziale elevato, soprattutto a fronte di un processo frammentato e a tratti obsoleto come quello del panorama italiano.

La sperimentazione del caso studio applicata ad un reale progetto, è stata indispensabile al fine di identificare quelle che possono essere le criticità e/o i vantaggi derivanti dall'uso della metodologia BIM e soprattutto applicata alle dimensioni 4D e 5D. Sebbene il mondo della modellazione tridimensionale BIM 3D sia ben consolidata ed affermata, non risultano allo stesso modo le successive dimensioni. Nell'istante in cui si esporta il modello tridimensionale 3D in un qualsiasi altro software, esso è caratterizzato da una costante "K" alla quale si aggiunge una variabile "x" con lo scopo di far dialogare il modello con le altre variabili presenti nello spazio.

Si ottiene così una funzione del tipo:

$$f = K(x)$$

K= costante BIM statica

x= variabile aggiuntiva

Tutte le informazioni geometriche ed informative, vengono esportate dal modello tridimensionale come dati statici ed importati in altri programmi, i quali permettono il controllo delle altre dimensioni. In realtà con diverse sperimentazioni si è ipotizzato che le dimensioni successive al 3D non hanno un vero e proprio riscontro scientifico, poiché le dimensioni 4D e 5D non possono essere considerati dei reali iperspazi, per cui si traducono come modelli ad un'unica dimensione. Dall'ipotesi effettuata ne consegue che le dimensioni sopra citate, non consentono di avere dei vantaggi quali ad esempio un'analisi di funzione dei massimi e dei minimi e quindi delle possibili ottimizzazioni nel progetto.

Sulla base delle considerazioni relative al caso studio sono state riscontrate delle criticità relative ad un'organizzazione di dati difforme tra i software utilizzati, derivante da una logica di linguaggio diversa.

A livello professionale riuscire ad applicare questa digitalizzazione del campo economico e temporale porterebbe a grandi risultati. Ad oggi per la realizzazione di una reale dimensione 4D e 5D sono presenti sul mercato degli scripting da utilizzare, tuttavia sono poco commercializzati.

4.3. Vantaggi del ciclo BIM integrato

L'introduzione del BIM rappresenta una grande rivoluzione, e soprattutto, un capovolgimento di prospettiva per chi approda all'utilizzo di questa metodologia, da software, come il CAD, intendendo con quest'ultima affermazione un flusso di lavoro che prevede la definizione di un edificio attraverso la creazione di una serie di elaborati descrittivi, piante, sezioni, prospetti. Lavorando con un modello BIM, accade esattamente l'opposto, l'edificio viene completamente ricostruito in modo virtuale, ed i canonici elaborati che lo descrivono vengono ricavati a partire da esso. Sviluppando un progetto in BIM significa creare un modello intelligente di edificio, che simula e mantiene relazioni uguali a quelle dell'omologo reale. Ad esempio, quando si disegna un oggetto architettonico, per esempio una finestra, con un software CAD, si traccia un insieme di linee a cui per convenzione grafica si assegna lo "status di finestra". In un certo modo quindi, si attribuisce un'informazione al progetto di cui quella finestra è un componente. Compiendo la medesima operazione in BIM, viene realizzato un "alter ego" virtuale, di una finestra reale. Questo significa che, a differenza di quanto avviene con altri software, in BIM, l'oggetto si comporterà all'interno del modello come nella realtà: il suo collocamento potrà avvenire solo all'interno di un muro, e se successivamente il muro venisse cancellato anche la finestra scomparirebbe, invece di fluttuare per il modello, come accadrebbe alle linee tracciate in un software CAD. Espandendo il concetto all'intero progetto possiamo affermare che al termine dello stesso si ottiene l'alter ego, o modello digitale, di un edificio reale dal quale è possibile estrapolare tutte le informazioni necessarie alla stesura della documentazione esplicativa del progetto stesso (tavole tecniche, computi). Questo è un altro dei punti cardine del BIM: tutto è raggruppato in un unico database, contrariamente ai CAD tradizionali, dove piante, prospetti, sezioni, possono tranquillamente essere distinti e soprattutto scollegati tra loro. In un modello BIM, ogni modifica ad un elemento della costruzione, viene aggiornata in tempo reale, poiché le viste si limitano ad "osservare" il modello e a restituircelo graficamente, o numericamente nel caso degli abachi. Tutto questo non significa solo una maggiore velocità nella creazione degli elaborati, ma soprattutto una coordinazione totale in quanto questa viene eseguita automaticamente dal software. Questo modo di procedere, unito a quanto esposto sopra, con riferimento al comportamento "reale" degli elementi che compongono il progetto, permette di porre in evidenza in modo preventivo eventuali errori o incongruenze, riducendo in modo importante il numero di "imprevisti" in fase di realizzazione del progetto. Le quantità estrapolate da un modello BIM sono il frutto non di un calcolo umano ma di informazioni ed operazioni insite nel progetto dati dal software; questo permette di minimizzare gli errori ed ottimizzare i tempi di sviluppo.

4.4. Modalità di gestione informativa economica (5D)

In questo capitolo verranno analizzate nel dettaglio tutte le decisioni e le motivazioni che hanno portato all'applicazione delle scelte effettuate al caso studio, attorno al quale è stato costruito il lavoro di tesi.

È stata svolta una simulazione del computo metrico estimativo tramite approccio BIM, utilizzando tre software di Authoring: Autodesk Revit come software per la modellazione, Primus-P come software per la computazione ed infine ArchVISION RP come software di interoperabilità tra il modello e l'elenco prezzi.

Come già accennato, ci sono diversi modi per associare le voci dell'elenco prezzi a ogni elemento in BIM, ma la strada da scegliere dipende da come è stato creato il modello, dipende dalla modalità da come sono state create e rinominate le famiglie ed anche da come si vuole presentare il computo.

Da sempre la computazione di un progetto architettonico o di un semplice disegno CAD, ha comportato problemi in termini di velocità, affidabilità e legame univoco tra le entità disegnate e quelle effettivamente computate. In particolar modo, modificando l'elaborato grafico, si generava un disallineamento del computo con la necessità di complesse ed onerose revisioni manuali in quest'ultimo. Le revisioni manuali al computo, inoltre, si prestavano spesso ad interpretazioni non corrette, con il conseguente ottenimento di valutazioni, misurazioni e computazioni errate o incomplete. Il software di interoperabilità dispone di una serie di tools sviluppati proprio per aggiungere al modello BIM una serie di funzionalità ed utilità specificatamente dedicate a questa problematica. Occorre precisare che, sebbene questo software abbia la possibilità di preparare autonomamente tutto quanto sia necessario alla realizzazione di un computo completo, per poter realizzare il documento è necessario collegarsi al software di computazione, il quale permette di ottenere, da un'unica fase di input ed in maniera semplice e veloce, tutti i documenti di tipo economico della progettazione, anche quelli necessari per la predisposizione dei bandi di gara e l'affido dei lavori; gestisce in un unico documento il computo metrico dei lavori, quadro economico di progetto, calcolo dell'incidenza dei costi della sicurezza e della manodopera, calcolo degli oneri di sicurezza aziendali, verifica di congruità, ecc. Ogni modifica apportata al computo metrico aggiorna in maniera automatica il quadro economico e tutti gli altri elaborati di progetto.

Il procedimento analitico per la stima dei costi è il Computo Metrico Estimativo, nel quale vengono calcolati i costi di costruzione. La somma degli importi delle quantità per i rispettivi prezzi unitari costituisce il preventivo analitico (Cc) ottenuto attraverso il Computo Metrico Estimativo:

$$Cc = \sum (Q_i \times P_i)$$

Q_i = quantità di ciascuna lavorazione

P_i = prezzo unitario di ciascuna lavorazione

I due soggetti che utilizzano il CME sono il committente, il quale può effettuare la programmazione degli investimenti e la valutazione delle offerte formulate dalle imprese e il costruttore, che ha la possibilità di valutare la convenienza delle opere da eseguire (in fase preventiva) e utilizzare i dati del computo nelle fasi di ordinazione e contabilità (in corso d'opera).

In edilizia, le opere possono essere retribuite secondo quattro modalità:

1. in funzione degli accordi contrattuali:
 - opere a corpo: prevedono la determinazione di un compenso fisso per l'esecuzione completa dei lavori che deve essere preventivamente calcolata
 - opere a misura: si compensano sulla base di prezzi unitari stabiliti per le singole categorie di opere e quindi i pagamenti vengono effettuati sulle misurazioni della quantità di opere effettivamente realizzate.
2. in funzione della natura delle prestazioni:
 - lavori in economia: si compensano separatamente le prestazioni fornite di manodopera, noleggi e trasporti, sulla base della loro determinazione a consuntivo.
 - lavori a percentuale: comprendono le prestazioni parziali, assistenze, per le quali il compenso è stabilito in funzione dell'importo a cui si riferiscono (ad esempio: il progettista, il direttore dei lavori).

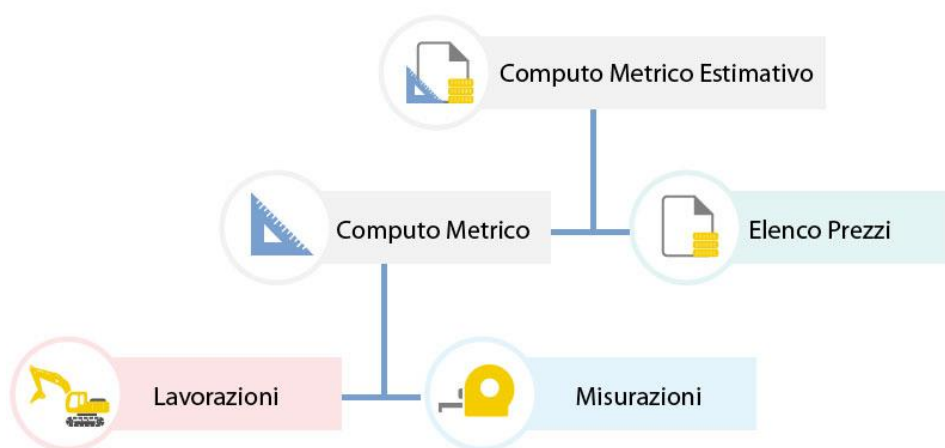


Figura 39: Computo Metrico Estimativo

fase	strumenti	risultato
1. La fase di classificazione	WBS: struttura ad albero per lavorazioni	Elenco delle lavorazioni
2. La fase di misurazione	Disegni di misura	Computo Metrico (CM)
3. La fase di stima dei prezzi unitari	Prezziari Analisi prezzi unitari	Elenco dei prezzi unitari (EPU)
4. La fase finale	WBS e i risultati delle fasi precedenti: EPU e CM	Computo metrico estimativo (CME)

Tabella 4: Scomposizione del sistema costruttivo

L'obiettivo della classificazione è la scomposizione del sistema costruttivo in parti fisiche, vale a dire che la classificazione associa in maniera univoca la descrizione qualitativa del prodotto edilizio alla sua precisa quantificazione e il suo prezzo unitario. Sulla base della classificazione saranno redatti gli articoli di capitolato recanti le specifiche tecniche e l'elenco voci del CME a cui faranno riferimento misurazioni e prezzi unitari.

Come prima azione, c'è stata la stesura della Work Breakdown Structure (WBS), che come abbiamo visto nei capitoli precedenti, consiste in una struttura di decomposizione gerarchica del progetto, secondo le attività necessarie al suo completamento, suddivisa su più livelli. Tale struttura è stata elaborata con il software di computazione, prendendo in considerazione la configurazione iniziale realizzata dall'azienda BMS Progetti. La struttura WBS elaborata dall'azienda è una configurazione specifica e individuale, al fine di evidenziare i Centri di Costo a servizio di una migliore lettura dell'analisi di sviluppo e immobiliare per il cliente. La scelta di seguire questo tipo di struttura piuttosto che la tradizionale, così come descritta dalla Norma UNI 8290-1:1981 basata sul sistema tecnologico, è stato principalmente per avere un metodo di paragone tra la metodologia BIM e quella tradizionale.

EDILIZIA RESIDENZIALE - SISTEMA TECNOLOGICO CLASSIFICAZIONE E TERMINOLOGIA (NORMA UNI 8290 - 1981)		
Classi di unità tecnologiche	Unità tecnologiche	Classi di elementi tecnici
1. Struttura portante	1.1 Struttura di fondazione	1.1.1 Strutture di fondazione dirette 1.1.2 Strutture di fondazione dirette
	1.2 Struttura di elevazione	1.2.1 Strutture di elevazione verticali 1.2.2 Strutture di elevazione orizzontali e inclinate 1.2.3 Strutture di elevazione spaziali
	1.3 Struttura di contenimento	1.3.1 Strutture di contenimento verticali 1.3.2 Strutture di contenimento orizzontali
2. Chiusura	2.1 Chiusura verticale	2.1.1 Pareti perimetrali verticali 2.1.2 Infissi esterni verticali
	2.2 Chiusura orizzontale inferiore	2.2.1 Solai a terra 2.2.2 Infissi orizzontali
	2.3 Chiusura orizzontale su spazi esterni	2.3.1 Solai su spazi aperti
	2.4 Chiusura superiore	2.4.1 Coperture 2.4.2 Infissi esterni orizzontali
3. Partizione interna	3.1 Partizione interna verticale	3.1.1 Pareti interne verticali 3.1.2 Infissi interni verticali 3.1.3 Elementi di protezione
	3.2 Partizione interna orizzontale	3.2.1 Solai 3.2.2 Soppalchi 3.2.3 Infissi interni orizzontali
	3.3 Partizione interna inclinata	3.3.1 Scale interne 3.3.2 Rampe interne
4. Partizione esterna	4.1 Partizione esterna verticale	4.1.1 Elementi di protezione 4.1.2 Elementi di separazione
	4.2 Partizione esterna orizzontale	4.2.1 Balconi e logge 4.2.2 Passerelle
	4.3 Partizione esterna inclinata	4.3.1 Scale esterne 4.3.2 Rampe esterne

Figura 40: Classificazione per funzioni (UNI 8290)

La classificazione UNI 8290 si articola in classi di unità tecnologiche, intese come:

"unità che si identifica con un raggruppamento di funzioni, compatibili tecnologicamente, necessarie per l'ottenimento di prestazioni ambientali" ⁵.

⁵ UNI 7867, 1978: "Edilizia – Terminologia per requisiti e prestazioni, parte 4

I problemi legati all'utilizzo di questa classificazione sono le funzioni degli elementi tecnici che si riflettono sui costi solo in maniera indiretta, vale a dire che vi sono interferenze nella computazione a causa della coesistenza, nelle singole classi di elementi, di categorie di lavoro diverse (es.: nelle chiusure verticali sono comprese sia le pareti perimetrali che gli infissi esterni).

L'organizzazione utilizzata per la tesi è una classificazione per materiali e lavorazioni in cui le opere vengono distinte facendo riferimento diretto all'organizzazione del cantiere edile, le opere sono raggruppate sulla base delle categorie di lavoro collegate ai singoli operatori che intervengono nel processo. È la più adatta alla codifica delle varie voci di un CME perché risponde a due caratteristiche:

- realizza una corrispondenza diretta tra gli elementi della classificazione e gli elementi fisici della costruzione
- pone in relazione questi ultimi con i singoli fattori di produzione

Una lavorazione è quel livello di scomposizione di un'opera edilizia tale per cui un ulteriore sottolivello di scomposizione riguarderebbe i singoli fattori produttivi (materiali, manodopera, noli e trasporti).

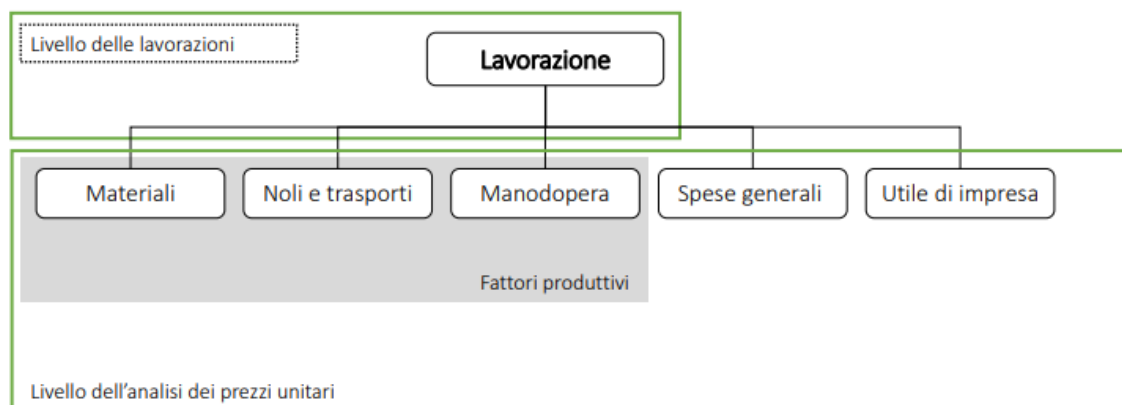


Figura 41: Esempio livello delle lavorazioni

Gli articoli (o voci) sono gli oggetti o le parti convenzionali assunte a base della misurazione, così come provengono dal tipo di classificazione adottato. Gli articoli sono costituiti da tre parti:

- descrizione: deve definire con precisione l'oggetto della misurazione cui l'articolo si riferisce
- quantità: esprime il risultato delle operazioni aritmetiche eseguite sulle dimensioni degli elementi
- unità di misura

Sulla base di quanto è stato detto è stata “scomposta” la struttura del progetto fino al livello desiderato, assegnando singole voci o blocchi di voci di misurazione alla struttura WBS; quest’ultima può essere usata in modo congiunto con Categorie, Super Categorie e Sub Categorie, che rappresentano ulteriori opportunità di scomposizione del progetto. Trattando unicamente la disciplina architettonica, la Torre C, è stata identificata in “TC AR”, da qui sono state definite le tipologie di attività del modello, oggetto del Computo Metrico Estimativo.

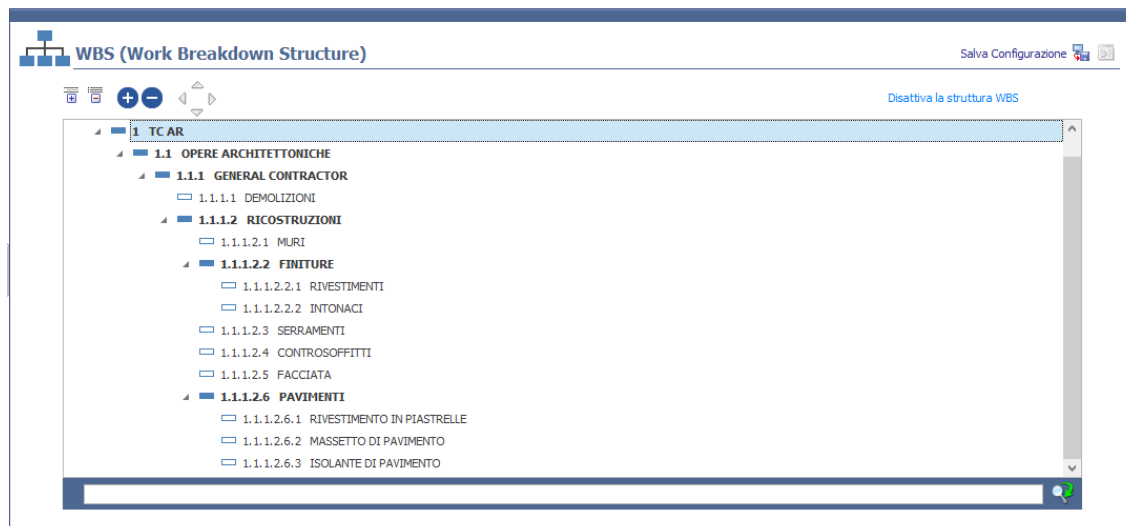


Figura 42: Struttura WBS (Primus)

La configurazione della WBS realizzata con il software di computazione è stata importata nel software di interoperabilità in modo da avere una corrispondenza precisa degli elementi e facilitarne la verifica.

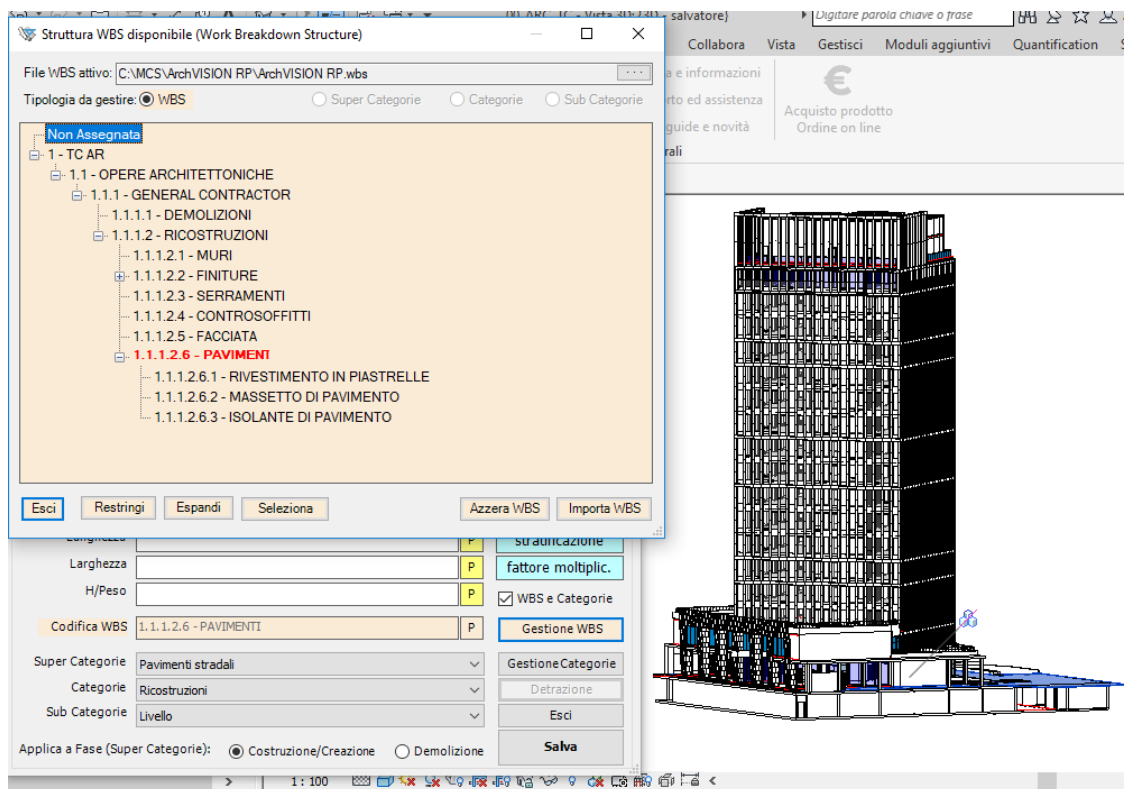


Figura 43: Importazione WBS nel software ArchVision RP

A questo punto è stata determinata l'Analisi dei Prezzi.

I prezzi unitari si determinano:

- in modo sintetico sulla base dei prezziari forniti dalle Camere di Commercio oppure dagli Ordini professionali
- per via analitica attraverso l'analisi dei prezzi unitari

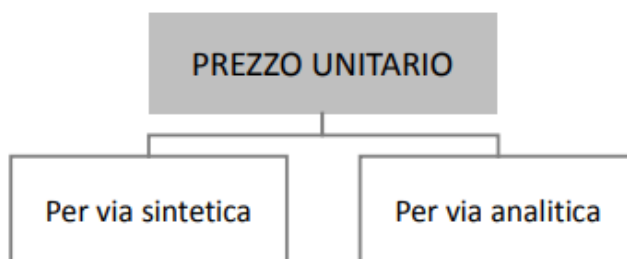


Figura 44: Schema Prezzo Unitario

Il prezzo unitario per via sintetica viene desunto dal prezzario o listino prezzi nella parte "Opere compiute"; i prezzari definiscono i prezzi medi con riferimento a condizioni esecutive ordinarie: dimensioni cantiere, accessibilità e organizzazione.

Per la stima analitica dei prezzi unitari, si procede in due fasi:

- suddivisione della lavorazione nei singoli fattori produttivi
- attribuzione delle quantità di fattore con relativo prezzo elementare (desunto dal listino prezzi "Materiali e lavorazioni")

Si ricorre all'analisi dei prezzi unitari o per condizioni straordinarie o con tecnologie e/o materiali innovativi, inoltre l'analisi dei prezzi unitari per via analitica considera:

- i costi variabili o costo tecnico di costruzione: materiali, manodopera, noli e trasporti
- i costi fissi: spese generali e utile dell'impresa

I costi fissi sono pari al 26,5% del costo tecnico di costruzione.

Per il lavoro di tesi è stato utilizzato, per tutte le Voci presenti nell'Elenco Prezzi, il Prezzario della Regione Lombardia ed in particolare quello del Comune di Milano 2018; viceversa per le altre Voci è stato creato un Nuovo Elenco Prezzi, per un totale di 81 Voci, definito con la sigla PA.CI (Prezzo Aggiuntivo al Civile), in cui sé stata definita l'unità di misura, la descrizione dell'articolo e il relativo prezzo.

	Tariffa	DESCRIZIONE dell' ARTICOLO	unità di misura	Prezzo [1]
		Voce riservata!!!		
⊕				0.00
⊕				0.00
⊕				0.00
⊕	PA.CI.001	"Fornitura e posa in opera di pareti in blocchi cavi di cemento vibrocompressi facc	m2	46.85
⊕	PA.CI.002	"Fornitura e posa in opera di pareti in blocchi cavi di cemento vibrocompressi facc	m2	56.75
⊕	PA.CI.003	Fornitura e posa controparete realizzata in lastre a bordi assottigliati compresa d	m2	39.14
⊕	PA.CI.004	Fornitura e posa parete a secco realizzata in lastre a bordi assottigliati compresa	m2	48.69
⊕	PA.CI.005	Fornitura e posa parete a secco realizzata in lastre a bordi assottigliati compresa	m2	49.91
⊕	PA.CI.006	Fornitura e posa parete a secco realizzata in lastre a bordi assottigliati compresa	m2	58.70
⊕	PA.CI.007	Fornitura e posa parete a secco realizzata in lastre a bordi assottigliati compresa	m2	59.92
⊕	PA.CI.008	Fornitura e posa parete a secco realizzata in lastre a bordi assottigliati compresa	m2	67.31
⊕	PA.CI.009	Fornitura e posa parete a secco realizzata in lastre a bordi assottigliati compresa	m2	68.53
⊕	PA.CI.010	Fornitura e posa parete a secco realizzata in lastre a bordi assottigliati compresa	m2	48.69
⊕	PA.CI.011	Fornitura e posa parete a secco realizzata in lastre a bordi assottigliati compresa	m2	49.91
⊕	PA.CI.012	Fornitura e posa controparete realizzata in lastre a bordi assottigliati compresa d	m2	47.82
⊕	PA.CI.013	Fornitura e posa parete a secco realizzata in lastre a bordi assottigliati compresa d	m2	49.04
⊕	PA.CI.014	Fornitura e posa controparete realizzata in lastre a bordi assottigliati compresa d	m2	58.77
⊕	PA.CI.015	Fornitura e posa controparete realizzata in lastre a bordi assottigliati compresa d	m2	39.14
⊕	PA.CI.016	Fornitura e posa controparete realizzata in lastre a bordi assottigliati compresa d	m2	39.14
⊕	PA.CI.017	Fornitura e posa controparete realizzata in lastre a bordi assottigliati compresa d	m2	40.36
⊕	PA.CI.018	Fornitura e posa controparete realizzata in lastre a bordi assottigliati compresa d	m2	42.08
⊕	PA.CI.019	Fornitura e posa in opera di lamiera strita in acciaio zincato per chiusura parape	m2	51.04
⊕	PA.CI.020	Fornitura e posa parete a secco realizzata in lastre a bordi assottigliati compresa	m2	45.89
⊕	PA.CI.021	Fornitura e posa in opera di lamiera microforata in acciaio zincato con verniciatura	m2	175.00
⊕	PA.CI.022	"Tinteggiatura con pittura lavabile a base di resine acriliche di superfici interne ve	m2	4.14
⊕	PA.CI.023	Rivestimento in piastrelle di gres fine porcellanato tipo 'Clear' Mirage a superficie	m2	76.96
⊕	PA.CI.024	Rivestimento in piastrelle di gres fine porcellanato tipo 'Cold' Mirage a superficie li	m2	85.38
⊕	PA.CI.025	Rivestimento in piastrelle di gres fine porcellanato da esterno tipo pietra granito c	m2	147.45
⊕	PA.CI.027	Fornitura e posa in opera di zoccolature e rivestimento pareti verticali esterne cc	m2	230.00
⊕	PA.CI.028	Intonaco completo per interni ad esecuzione manuale, con finitura a civile fine, su	m2	48.00
⊕	PA.CI.031	Fornitura e posa in opera di massetto impiantistico per pavimento in ceramica, gri	m2	48.13
⊕	PA.CI.032	Fornitura e posa placcaggio con lastra singola in cartongesso a bordi assottigliati	m2	23.22
⊕	PA.CI.033	Fornitura e posa placcaggio con lastra singola in cartongesso a bordi assottigliati	m2	39.02
⊕	PA.CI.034	Fornitura e posa controsoffitto in metallo tipo 'Armstrong Metal S-Clip' dim. 120cn	m2	50.00
⊕	PA.CI.035	Fornitura e posa controsoffitto da esterno in lastre di cartongesso fibrorinforzate	m2	52.64
⊕	PA.CI.036	Fornitura e posa controsoffitto in lastre di cartongesso a bordi assottigliati tipo 'H	m2	45.52
⊕	PA.CI.037	Fornitura e posa placcaggio con lastra singola in cartongesso a bordi assottigliati	m2	35.07
⊕	PA.CI.038	Fornitura e posa controsoffitto in lastre di cartongesso a bordi assottigliati tipo 'L	m2	35.37
⊕	PA.CI.051	Fornitura e posa di membrana impermeabilizzante bituminosa elastoplastometrica	m2	29.50
⊕	PA.CI.061	Grigliati a parete, anche con eventuali parti apribili, con profilati di ferro normali c	m2	202.00
⊕	PA.CI.062	"Pavimento sopraelevato ispezionabile composto da struttura di sostegno format	m2	70.00
⊕	PA.CI.063	Grigliati a pavimento, anche con eventuali parti apribili, con profilati di ferro norm	m2	202.00
⊕	PA.CI.064	Formazione di veelette di raccordo fra controsoffitto e placcaggio in cartongesso,	m2	68.41
⊕	PA.CI.065	Fornitura e posa di setto con resistenza al fuoco REI 90 per la compartimentazio	m2	75.00
⊕	PA.CI.070	Fornitura e posa di pavimento in piastrelle di grès fine porcellanato tipo 'Gris Belg	m2	83.84
⊕	PA.CI.071	Fornitura e posa di pavimentazione esterna in lastre di granito della Valmalenco s	m2	94.80
⊕	PA.CI.072	Pavimento in grès tipo 'Clear' di Mirage - 60 x 60 cm	m2	78.52
⊕	PA.CI.073	Pavimento in grès tipo 'Gris Belge' di Mirage - 60 x 120 cm	m2	101.89
⊕	PA.CI.074	Fornitura e posa di zerbino con moquette tessile di colore grigio, per uso interno	a corpo	9 995.79
⊕	PA.CI.075	"Fornitura e posa di pavimento in piastrelle di grès fine porcellanato tipo 'Gris Belg	m2	147.07
⊕	PA.CI.076	"Fornitura e posa di pavimento su struttura sopraelevata ispezionabile in piastrell	m2	101.89
⊕	PA.CI.078	"Fornitura e posa di pavimento su struttura sopraelevata ispezionabile in piastrell	m2	147.07
⊕	PA.CI.079	Fornitura e posa in di pavimentazione galleggiante realizzato con profili in legno c	m2	250.00
⊕	PA.CI.080	Fornitura e posa in opera di rivestimento autolivellante per pavimentazioni civili d	m2	27.40
⊕	PA.CI.081	Fornitura e posa in opera di rivestimento antisdrucciolo per pavimentazioni indust	m2	50.00
⊕	PA.CI.082	"Fornitura e posa in opera di nuova pavimentazione della scala esistente limitatam	m2	198.00
⊕	PA.CI.083	Fornitura e posa di pacchetto per tetto verde tipo 'Bauder light' per la realizzazio	m2	183.45
⊕	PA.CI.084	Fornitura e posa di membrana liquida elastica pronta all'uso ad asciugamento est	m2	10.73
⊕	PA.CI.085	"Fornitura e posa in opera di porta tagliafuoco a uno o due battenti, EI 90/120/1	cadauno	475.00
⊕	PA.CI.087	"Fornitura e posa in opera di porta tagliafuoco a uno o due battenti per uscite di	cadauno	1 145.00
⊕	PA.CI.089	"Porte interne a uno o due battenti, compreso eventuale sopraluce, in legno tam	cadauno	580.00

PA.CI.090	"Fornitura e posa di telaio in lamiera zincata di contenimento del battente, per po	cadauno	700.00
PA.CI.091	"Fornitura e posa in opera di porta tagliafuoco a uno o due battenti esterne, Uv	cadauno	1 000.00
PA.CI.093	"Serramenti in alluminio per finestre, portefinestre ad una o più ante fisse, imper	m2	227.30
PA.CI.094	Serramento in alluminio per vetrate fisse di dimensione come da progetto, ad ant	m2	157.00
PA.CI.096	Fornitura e posa controsoffitto da esterno in lastre di cartongesso fibrorinforzate	m2	36.84
PA.CI.097	Fornitura e posa controsoffitto in lastre di cartongesso a bordi assottigliati tipo 'L	m2	51.17
PA.CI.099	Fornitura e posa controsoffitto per cassettoni alloggiamento canaline a soffitto c	m2	35.98
PA.CI.111	"Fornitura e posa in opera di porta tagliafuoco a uno o due battenti, EI 90/120/1	cadauno	500.00
PA.CI.112	"Fornitura e posa in opera di porta tagliafuoco a uno o due battenti, EI 90/120/1	cadauno	510.00
PA.CI.116	"Fornitura e posa in opera di porta tagliafuoco a uno o due battenti per uscite di	cadauno	1 750.00
PA.CI.117	"Fornitura e posa in opera di porta tagliafuoco a uno o due battenti per uscite di	cadauno	1 775.00
PA.CI.118	"Fornitura e posa in opera di porta tagliafuoco a uno o due battenti per uscite di	cadauno	1 930.00
PA.CI.120	"Porte interne a uno o due battenti, compreso eventuale sopraluce, in legno tam	cadauno	580.00
PA.CI.122	"Serramenti in alluminio per finestre, portefinestre a più ante apribili scorrevoli, e	cadauno	227.30
PA.CI.123	"Fornitura e posa in opera di malta cementizia bicomponente elastica per la prote	m2	30.00
PA.CI.125	"Fornitura e posa in opera di porta a due battenti per uscita di sicurezza interna c	cadauno	1 500.00
PA.CI.126	"Pavimento sopraelevato ispezionabile composto da struttura di sostegno format	m2	70.00
PA.CI.130	"Fornitura e posa di pavimento in piastrelle di grès fine porcellanato tipo 'Gris Bel	m2	120.00
PA.CI.131	"Serramenti in alluminio per finestre, portefinestre ad una o più ante fisse, imper	m2	227.30
PA.CI.133	Rivestimento centrale antincendio tipo "Orsogril" "Sistema di rivestimento di facci	m2	180.00

Dati Generali **Elenco Prezzi** Misurazioni Stampa (81 voci)

Figura 45: Nuovo Eleco Prezzi (Primus)

Il Comune di Milano, per migliorare la digitalizzazione ha creato un Prezzario in cui aggiungendo il simbolo “#” ad una parola, la variabile diventa una stringa di testo e un parametro ricercabile da altri programmi di visual Scripting. È un metodo utile per la realizzazione di un vero e proprio 5D e per opere che non richiedono una certa complessità. Nello specifico questo argomento non ricade nell’oggetto di tesi poiché l’opera in questione è alquanto complessa, per cui non avrebbe agevolato il risultato finale.

TARIFFA	DESCRIZIONE DELL'ARTICOLO	unità di misura	PREZZO UNITARIO
A65009.a	Muratura in elevazione realizzata con blocchi di laterizio alveolato di cui alla norma UNI EN 771, retta o curva ed a qualsiasi altezza, compresi oneri e magisteri per l'esecuzione di ammorsature e quanto altro si renda necessario a realizzare l'opera a perfetta regola d'arte: con blocchi 25 x 25 cm, aventi giacitura dei fori orizzontali e percentuale di foratura pari al 60 + 70%, per murature di tamponamento, contropareti e divisori: spessore 12,5 cm. #Categoria = "MURATURA NON PORTANTE"; #Materiale = "blocchi laterizio alveolato"; #Spessore [mm] = "125"; #DimensioneBlocco [mm] = "250*125*250"; #PercentualeFori [%] = "60:70"; #MassaVolumica [kg/m3] = "800:900"; #Conducibilità [W/m2*K] <= "0,480"; #ResistenzaVapore > "10"; #ReazioneFuoco = "A1"; #ClassificazioneAntincendio = "REI90" euro (quarantadue/65)	mq	42,65
A85069.c	Isolamento termico a parete o intercapedini perimetrali, realizzato con lastre di polistirene espanso estruso a superficie liscia con pelle, prodotte con gas senza CFC e HCFC; conducibilità termica W/mK 0,033, resistenza alla compressione kPa 100, reazione al fuoco Euroclasse E; conformi alla norma UNI EN 13164, con marcatura CE, bordo battentato. Compresi: tagli e sigillature relative, adattamenti, fissaggi con qualsiasi mezzo su qualsiasi struttura, raccordi, assistenze murarie e piani di lavoro. Negli spessori: - 30 mm #Categoria = "ISOLAMENTO TERMICO"; #Materiale = "polistirene espanso estruso (XPS)"; #Spessore [mm] = "30"; #Conducibilità [W/m*K] <= "0.033"; #ResistenzaCompressione [kPa] >= "100"; #Densità = "25:30"; #ResistenzaVapore <= "180"; #ReazioneFuoco = "E" euro (otto/82)	mq	8,82

Tabella 5: Prezzari BIM (UNI 11337-2-3 – A.Pavan)

Ad ogni elemento del modello BIM è possibile associare una o più Misurazioni, dove questo termine indica l'insieme di una Voce di Elenco Prezzi e della composizione che i relativi righi di misurazione avranno nel computo. In particolare una Misurazione può essere associata:

- ad una Famiglia di un Oggetto BIM (Muro, Finestra, Porta, ecc.)
- ad una Entità disegnata nel modello

Nel seguente progetto è stata utilizzata la Misurazione per Famiglia, in quanto questo metodo velocizza il processo di controllo e gestione degli elementi, essendo raggruppati per una stessa tipologia. Il passo successivo è stato di collegare, ad ogni oggetto modellato in BIM, le informazioni necessarie alla sua computazione. Dopo aver scelto l'elemento a cui associare le voci, cliccando su "associa famiglia" o "associa istanza", si apre una finestra descritta di seguito:

misurazione, in cui è possibile specificare il nome della misurazione ed eventuali note che sarà possibile riportare nella descrizione della relativa voce nel computo. In tale sezione è presente un primo list box in cui è possibile scegliere:

- Multi rigo, se la computazione delle entità associate alla misurazione selezionata deve essere espressa mediante più righe di misurazione
- Rigo Singolo, se la computazione delle entità associate alla misurazione selezionata deve essere espressa in un solo rigo

Nel secondo list box è possibile scegliere:

- positivo, se l'entità associata alla misurazione deve essere computata in positivo
- negativo, se la quantità dell'entità associata alla misurazione deve essere portata in detrazione; quando l'entità va computata "in negativo" i dati della misurazione associata nella griglia vengono riportati in rosso.

Figura 46: Campo di misurazione (ArchVISION-RP)

Nella finestra misurazioni per famiglia che si apre si compila il campo importando la Voce di EP con il costo al m² della lavorazione da utilizzare. Nella sezione rigo di misurazione si inserisce, quindi, la variabile "\$Lung\$" nel campo della lunghezza e la variabile "\$H\$" nel campo dell'altezza o altri parametri che definiscono l'attività. Il programma in questo modo calcolerà la "superficie lorda" del muro cioè il cosiddetto "vuoto per pieno". Per ottenere la superficie netta del muro (senza i vuoti dovuti alla presenza di finestre e porte), occorre sottrarre, alla superficie lorda, la superficie delle finestre e delle porte. È, quindi, necessario aggiungere una misurazione per il calcolo delle superfici di intonaco da detrarre, per fare questo si utilizza le famiglie di finestra e di porta. Si associa, quindi, a queste famiglie, una misurazione con la stessa voce di EP del muro avendo cura di specificare che le relative misurazioni dovranno essere computate in negativo. Naturalmente, nel rigo di misurazione della misurazione in negativo della famiglia di finestra/porta dovrà essere inserita la variabile "\$Larg\$"

MISURAZIONI per FAMIGLIA

FAMIGLIA : Porte

TARIFFA	DESCRIZIONE	MISURAZIONE
Detrazione autom...	Detrazione automatica	Detrazione automatica
PACI.117	" Fornitura e posa in opera di porta tagliaf...	Fm-EP-PACI.117

Trascinare una voce di EP per aggiungere una nuova Misurazione alla tipologia di entità

MISURAZIONE

Nome: Detrazione automatica
Note: Detrazione automatica

VOCE DI ELENCO PREZZI

Tariffa	MEP	Sintetica	Breve	Estesa	Ingrandisci	Un.Mis.	Prezzo
Detrazione automatica	P	Detrazione automatica				Detrazione auto	0,00

RIGO di MISURAZIONE

Descrizione	Quantità	Unità	Operatore	Calcolo
a detrarre \$NomeFam\$ - Id:\$Id\$	P	+ - * / ^		
Parti Uguali	1.0	P	() []	variabili ...
Lunghezza	\$Larg\$	P		stratificazione
Larghezza	\$Sp\$	P		fattore moltiplic.
H/Peso	\$H\$	P		

Codifica WBS: 1.1.2.3 - SERRAMENTI

Super Categoria: Porte
Categoria: Ricostruzioni
Sub Categoria: Urvello

Applica a Fase (Super Categories):
☒ Costruzione/Creazione ☐ Demolizione

Gestione WBS
Gestione Categorie
Rimuovi detraz.
Esd
Salva

Una Misurazione è costituita da un gruppo di informazioni che la identificano: un nome e delle note, una Voce di Elenco Prezzi e da un insieme di formule che compongono il Rigo di Misurazione. Nei campi di tale sezione vanno, pertanto, inseriti i dati, i valori e le variabili che compongono la misurazione e che verranno utilizzati dal software in fase di computazione. In luogo di un dato specifico (ad es. un certo valore numerico), in ogni campo della sezione rigo di misurazione, è possibile inserire una “Variabile”. Una Variabile è una stringa del tipo \$Lung\$ che, in fase di esportazione del computo, verrà sostituita automaticamente dal programma con l’opportuno dato o valore numerico rilevato dalle caratteristiche geometriche e descrittive dall’oggetto/entità disegnato.

MISURAZIONI per FAMIGLIA

FAMIGLIA: Solette Pavimenti: GD-S-FL.01_1500mm

TARIFFA	DESCRIZIONE	MISURAZIONE
Trascinare una voce di EP da PriMus per aggiungere una nuova misurazione alla tipologia di entità MISURAZIONE Nome Multirigo Note Positivo VOCE di ELENCO PREZZI Tariffa Descrizione della voce di Elenco Prezzi Sintetica ☒ Breve ☐ Estesa ☐ Un.Mis. Prezzo RIGO di MISURAZIONE Descrizione + - * / ^ Parti Uguali () [] variabili ... Lunghezza Stratificazione Larghezza ☒ Salva nel materiale H/Peso ☐ Abilita Categorie SuperCategorie: Nessuna Gestione Categorie Categorie: Nessuna Esai SubCategorie: Nessuna Salva Applica a Fase (SuperCategorie): ☒ Costruzione/Creazione ☐ Demolizione		

Figura 48: Rigo di misurazione (ArchVISION-RP)

I dati sostituiti alle variabili del rigo di misurazione di un Oggetto/Entità possono essere dati geometrici rilevati direttamente dal disegno oppure possono essere descrizioni e/o valori rilevati dalla famiglia o dalla misurazione associata all'entità.

I dati di una voce di Elenco Prezzi sono stati riportati nella Misurazione del software con una semplice operazione di Drag & Drop da un listino prezzi, tuttavia possono essere inseriti anche manualmente. Di seguito si riporta un esempio di Misurazione per Famiglia "Solette".

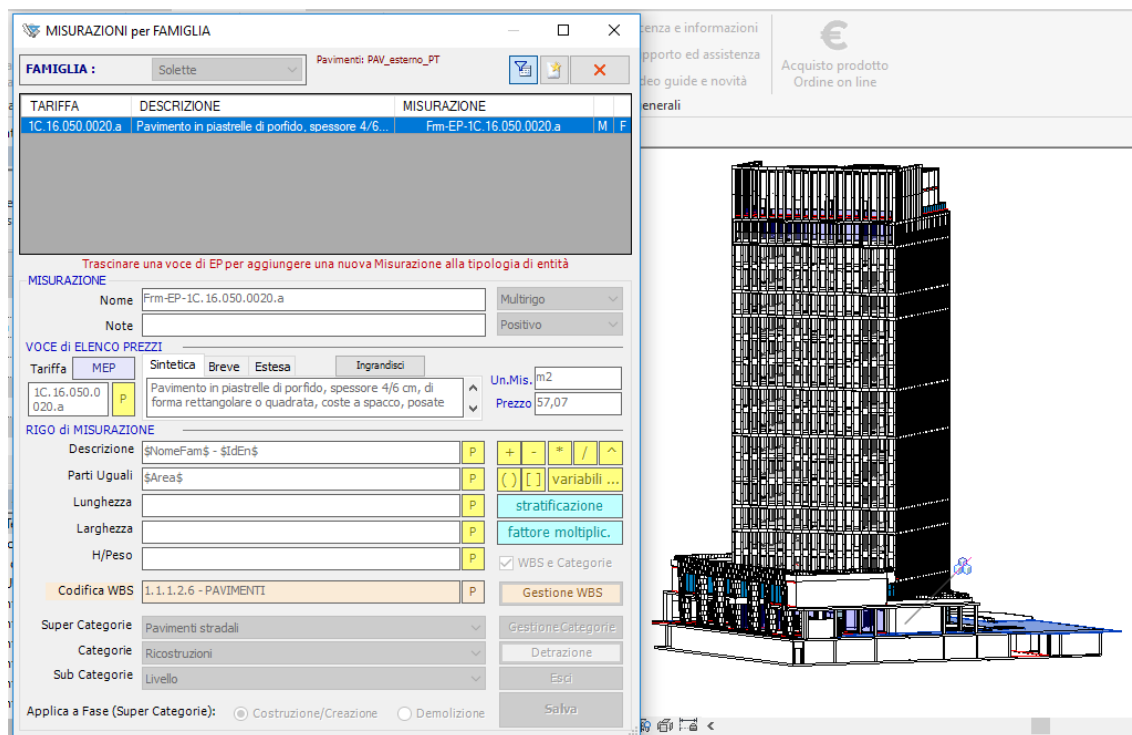


Figura 49: Esempio Misurazione per Famiglia (ArchVISION-RP)

In aggiunta alla codifica WBS, sono state definite nel software anche le Super Categorie, Categorie e Sub Categorie per ogni attività. In questo modo in base alle necessità e alle richieste del committente è possibile in maniera istantanea conoscere e verificare le informazioni relative ad una particolare lavorazione, ad una tipologia di attività suddivisa in "Ricostruzioni e Demolizioni" ed infine secondo i livelli che costituiscono l'edificio.

vista: Computo

Nr	Tariffa	DESIGNAZIONE dei LAVORI	DIMENSIONI				Quantità	IMPORTI	
			par.ug.	lung.	larg.	H/peso		unitario [1]	TOTALE
		Porte							254 388,11
		Muri							481 235,62
		Intonaci							57 261,30
		Massetti							83 236,31
		Coibentazioni Termiche							17 976,66
		Tinteggiature							65 785,09
		Controsoffitti							380 994,86
		Impermeabilizzazioni							46 369,85
		Pavimenti stradali							84 931,87
		Velette							16 484,44
		Rivestimenti in piastrelle							893 490,71
		Rivestimenti							140 812,26
		Facciata							111 243,56
		Pavimenti							704 798,71
		Finestre							1 591,10
		TOTALE euro							3 340 600,45
		AGGIUNGE NUOVA VOCE							

Figura 50: Computo metrico estimativo per Super Categorie

vista: **Computo**   

Nr	Tariffa	DESIGNAZIONE dei LAVORI	DIMENSIONI				Quantità	IMPORTI	
			par.ug.	lung.	larg.	H/peso		unitario [1]	TOTALE
		Ricostruzioni							3 322 240,80
		Demolizioni							18 359,65
		TOTALE euro							3 340 600,45
		AGGIUNGE NUOVA VOCE							

Figura 51: Computo metrico estimativo per Categorie

vista: **Computo**   

Nr	Tariffa	DESIGNAZIONE dei LAVORI	DIMENSIONI				Quantità	IMPORTI	
			par.ug.	lung.	larg.	H/peso		unitario [1]	TOTALE
		00_PS1_FFL - Sb: Livello							342 971,31
		01_PT_FFL - Sb: Livello							318 836,44
		04_P3_FFL - Sb: Livello							144 920,76
		03_P2_FFL - Sb: Livello							242 066,63
		02_P1_FFL - Sb: Livello							261 663,92
		16_P15_FFL - Sb: Livello							150 033,01
		17_P16_FFL - Sb: Livello							176 451,87
		18_P17_FFL - Sb: Livello							60 347,98
		19_P18_FFL - Sb: Livello							14 293,56
		05_P4_FFL - Sb: Livello							148 092,27
		06_P5_FFL - Sb: Livello							148 092,27
		07_P6_FFL - Sb: Livello							148 092,27
		08_P7_FFL - Sb: Livello							148 092,27
		11_P10_FFL - Sb: Livello							148 092,27
		12_P11_FFL - Sb: Livello							148 092,27
		13_P12_FFL - Sb: Livello							148 092,27
		14_P13_FFL - Sb: Livello							148 092,27
		15_P14_FFL - Sb: Livello							148 092,27
		09_P8_FFL - Sb: Livello							148 092,27
		10_P9_FFL - Sb: Livello							148 092,27
		TOTALE euro							3 340 600,45
		AGGIUNGE NUOVA VOCE							

Figura 52: Computo metrico estimativo per Sub Categorie

vista: **Computo**   

Nr	Tariffa	DESIGNAZIONE dei LAVORI	DIMENSIONI				Quantità	IMPORTI	
			par.ug.	lung.	larg.	H/peso		unitario [1]	TOTALE
		WBS							3 340 600,45
		<NON assegnata>							0,00
		1 TCAR							3 340 600,45
		1.1 OPERE ARCHITETTONICHE							3 340 600,45
		1.1.1 GENERAL CONTRACTOR							3 340 600,45
		1.1.1.1 DEMOLIZIONI							18 359,08
		1.1.1.2 RICOSTRUZIONI							3 322 241,37
		1.1.1.2.1 MURI							484 177,61
		1.1.1.2.2 FINITURE							199 472,43
		1.1.1.2.3 SERRAMENTI							255 897,25
		1.1.1.2.4 CONTROSOFFITTI							380 994,86
		1.1.1.2.5 FACCIAIA							111 243,56
		1.1.1.2.6 PAVIMENTI							1 890 455,66
		TOTALE euro							3 340 600,45
		AGGIUNGE NUOVA VOCE							

Figura 53: Computo metrico estimativo per WBS

Come si evince dalle figure sopra riportate, a prescindere dal modo in cui vogliamo visualizzare le attività, viene sempre riportato l'importo totale delle lavorazioni. Le funzionalità del software interoperabile per l'ottenimento del computo metrico estimativo, sono estremamente vantaggiose. Una volta effettuate le semplici operazioni di collegamento delle misurazioni alle famiglie e/o alle singole entità è possibile ottenere immediatamente il computo metrico del progetto. Inoltre, dopo qualsiasi modifica apportata al disegno o alla famiglia di oggetti, è possibile richiederne l'immediato aggiornamento. Il Tecnico, non avendo più l'onere di redigere ed aggiornare gli elaborati grafici ed il computo del progetto, può finalmente dedicarsi completamente alla progettazione.

4.5. Modalità di gestione informativa della programmazione temporale (4D)

Il passo conclusivo, successivo al lavoro svolto con il software di computazione e quello interoperabile, si concretizza in Navisworks, software che si è dimostrato fondamentale al fine dello sviluppo e all'esplicazione del tema attorno al quale è stata sviluppata la tesi.

Navisworks è un programma di casa Autodesk, che consente il coordinamento, la simulazione della costruzione e l'analisi di interi progetti per una Project Review integrata. Inoltre, alcune funzionalità di questo software includono strumenti avanzati per simulazione e convalida. Una volta importato tutto il modello, architettonico e strutturale, realizzato in BIM e la struttura corrispondente della WBS, in Navisworks, è stata utilizzata una delle funzioni offerte dal programma, ovvero il "Timeliner". Questa funzione permette l'utilizzo della simulazione 4D, ovvero permette di evidenziare nel progetto che si vuole analizzare, la componente "tempo"; sono stati collegati gli oggetti modellati in BIM, alle rispettive voci della struttura WBS importata, in modo tale da simulare la costruzione e/o la demolizione del progetto nel tempo preventivato. Grazie alla configurazione sviluppata precedentemente, ed applicata ad ogni oggetto BIM e alla rispettiva voce del programma lavori, si è potuto ottimizzare al massimo il processo di collegamento e montaggio del 'Timeliner'. All'interno del programma è stata definita una "regola", che associa automaticamente il campo delle famiglie BIM alle rispettive voci presenti nella WBS importata. In questa maniera Navisworks è stato in grado, grazie alla struttura sviluppata, di creare automaticamente una simulazione 4D del caso studio, riducendo drasticamente i tempi di realizzazione e soprattutto il margine di errore insito nel fattore umano. Trattandosi di una riqualificazione i lavori verranno eseguiti in maniera alternata rispetto ai piani, per cui avremo un diagramma temporale non del tutto lineare.

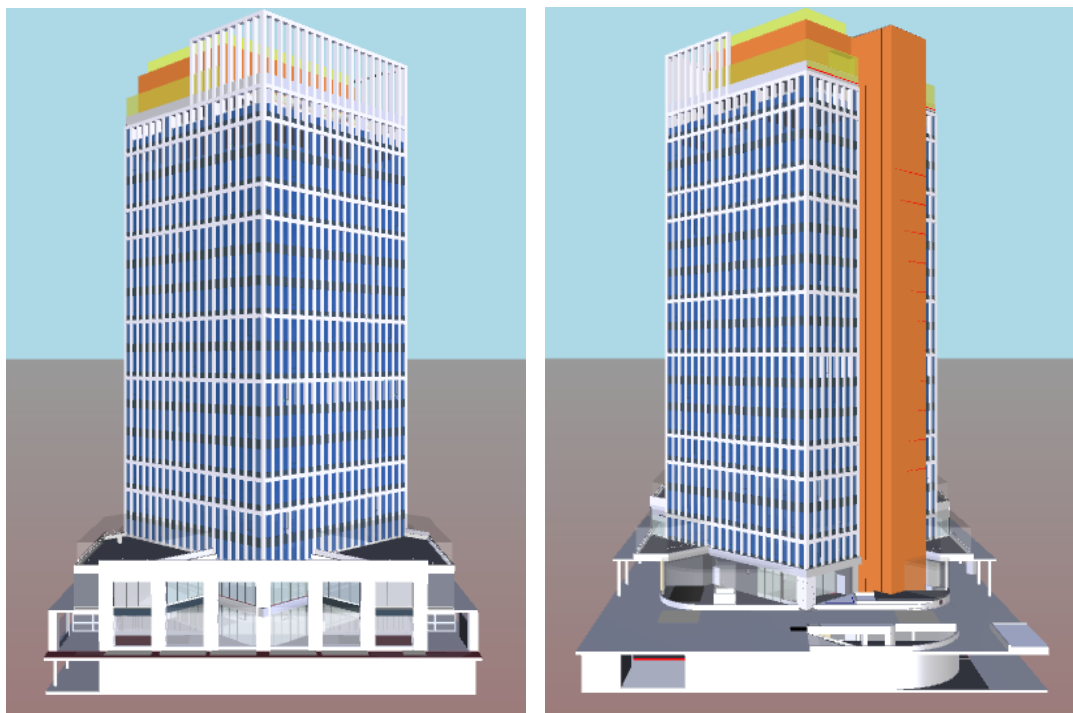


Figura 54: Vista 3D del progetto in Navisworks

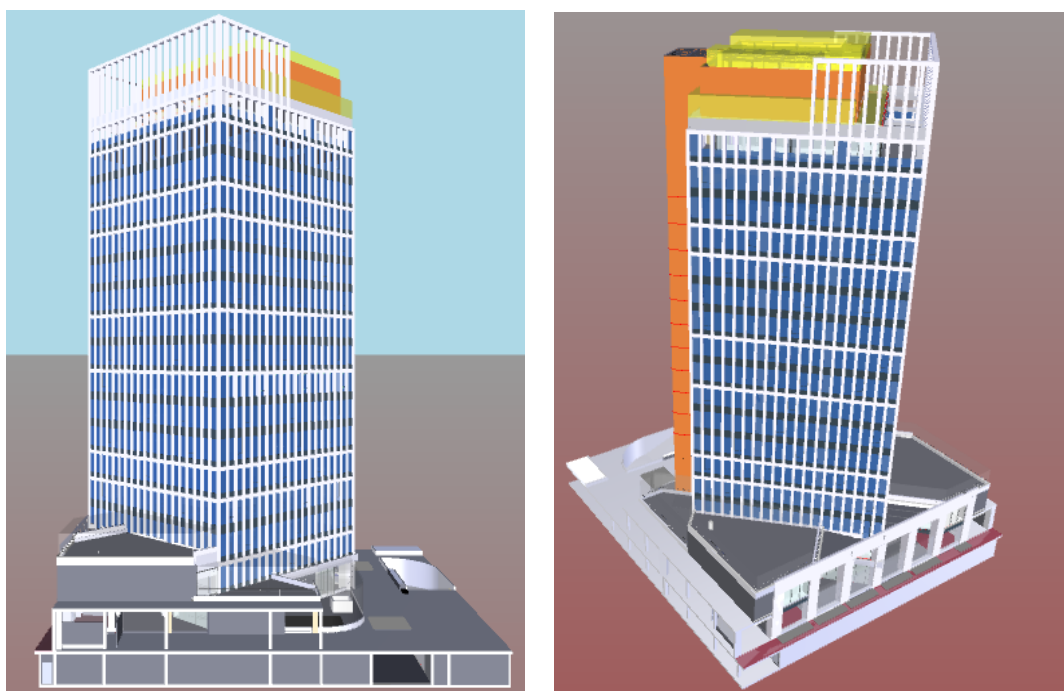


Figura 55: Vista 3D del progetto in Navisworks

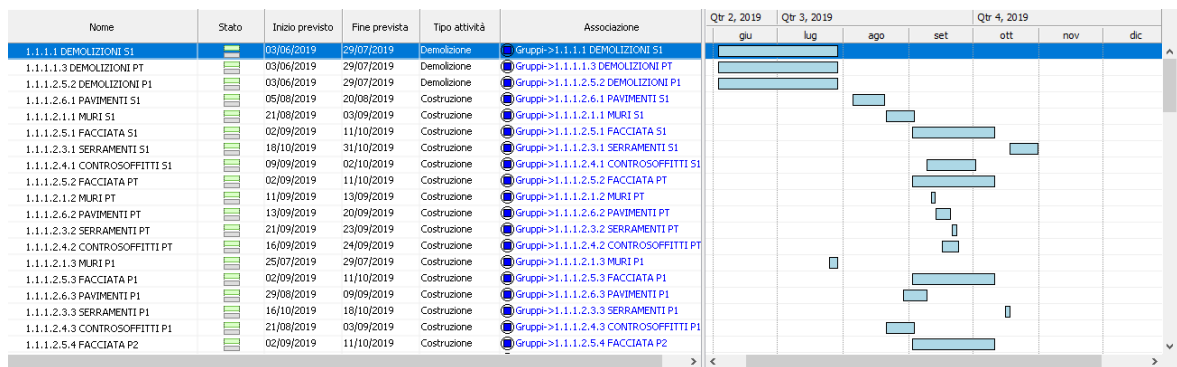


Figura 56: Programma Lavori inserito all'interno del Timeliner di Navisworks

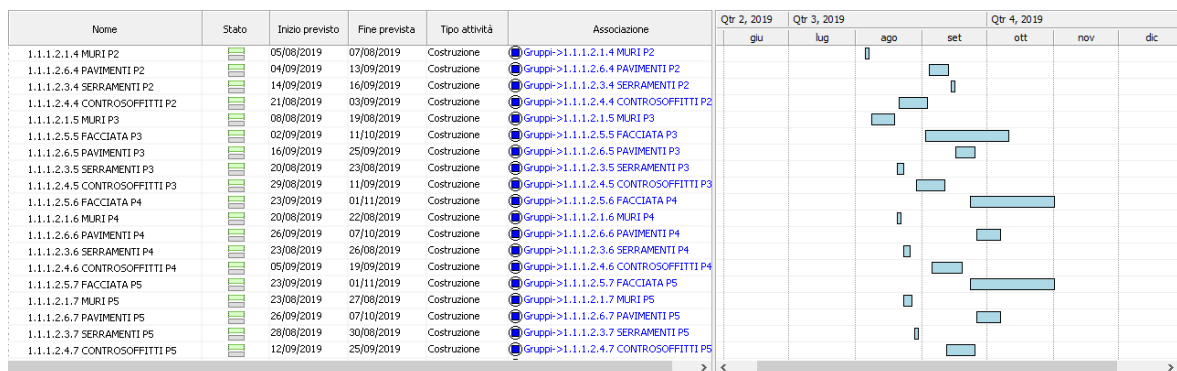


Figura 57: Programma Lavori inserito all'interno del Timeliner di Navisworks

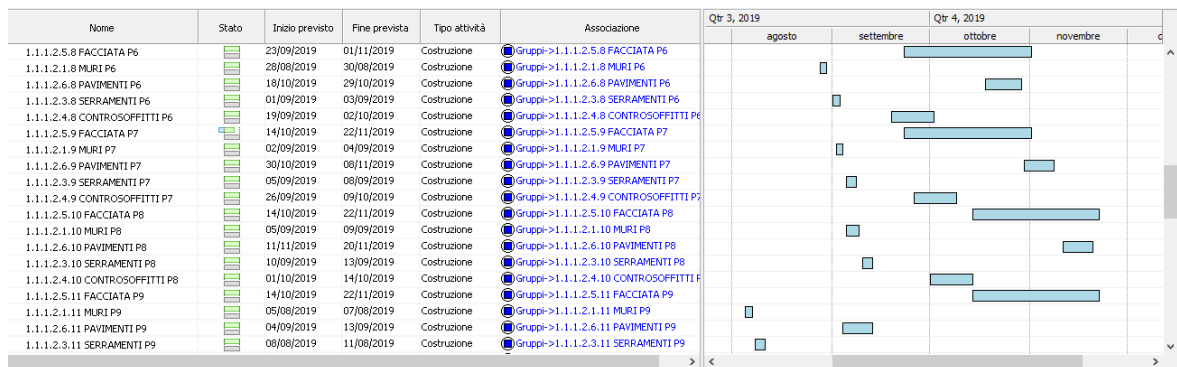


Figura 58: Programma Lavori inserito all'interno del Timeliner di Navisworks

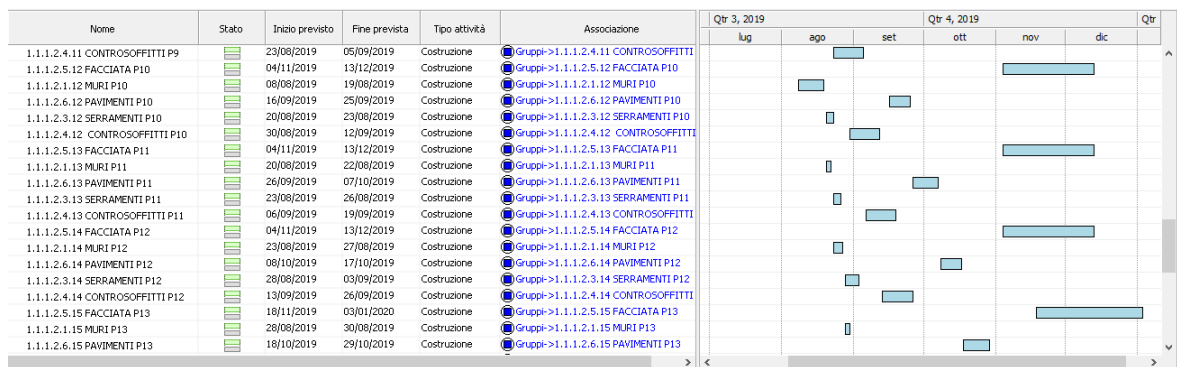


Figura 59: Programma Lavori inserito all'interno del Timeliner di Navisworks

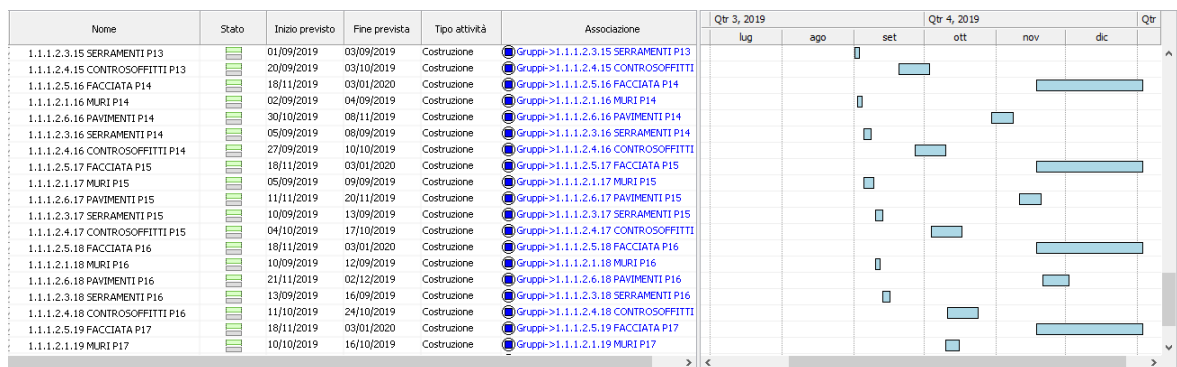


Figura 60: Programma Lavori inserito all'interno del Timeliner di Navisworks

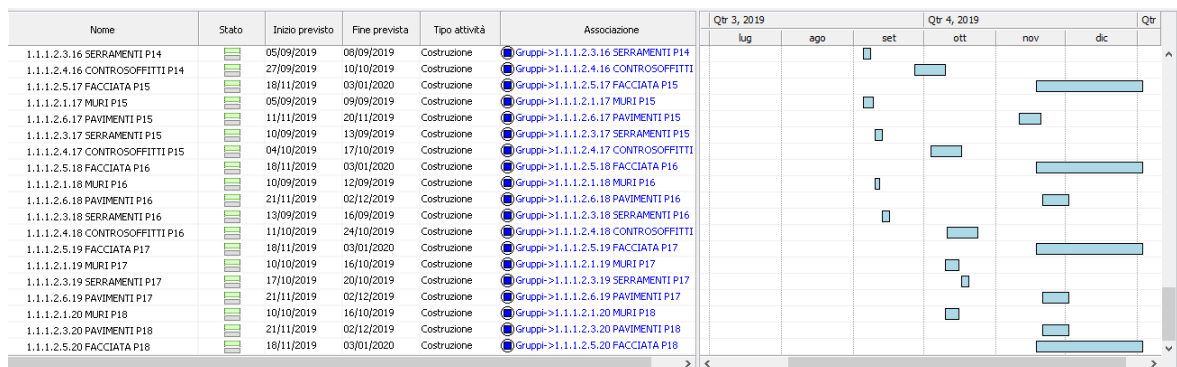


Figura 61: Programma Lavori inserito all'interno del Timeliner di Navisworks

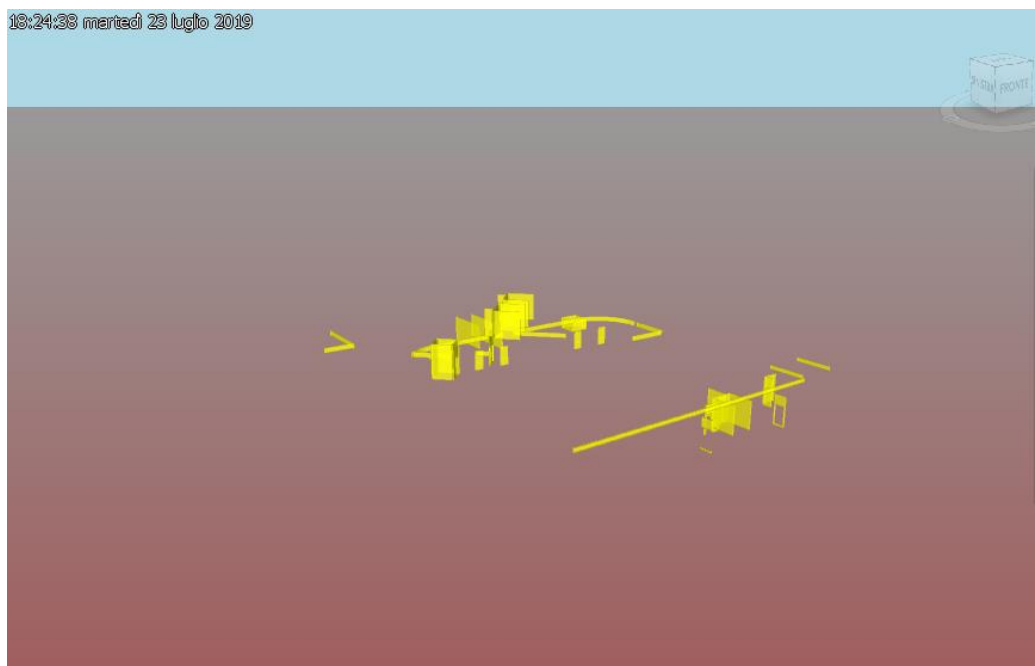


Figura 62: Simulazione 4D – Demolizioni (Navisworks)

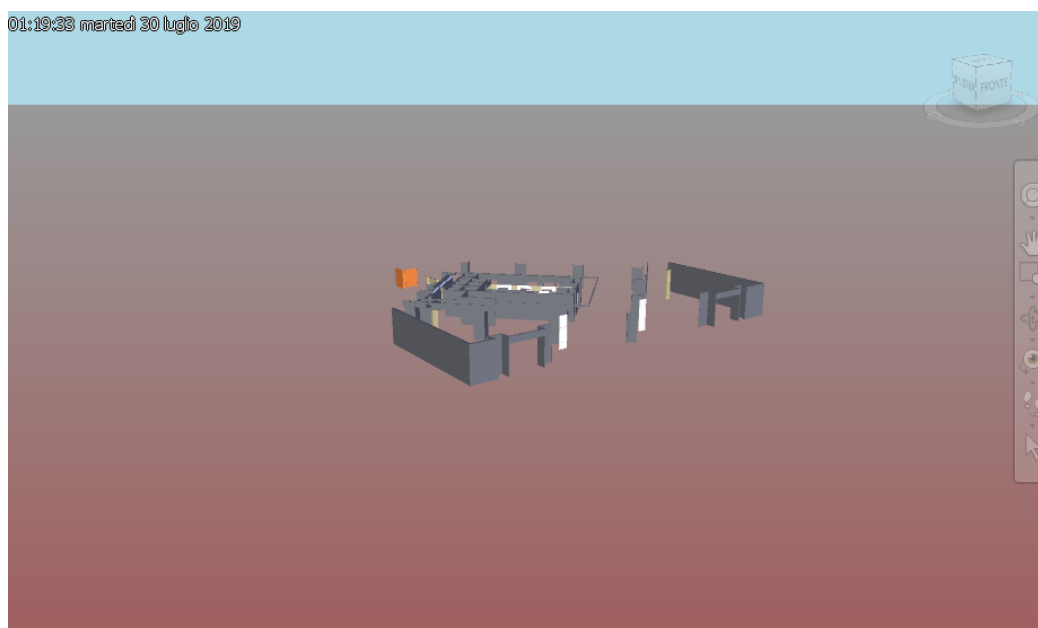


Figura 63: Simulazione 4D – Elevazioni Muri P1 (Navisworks)

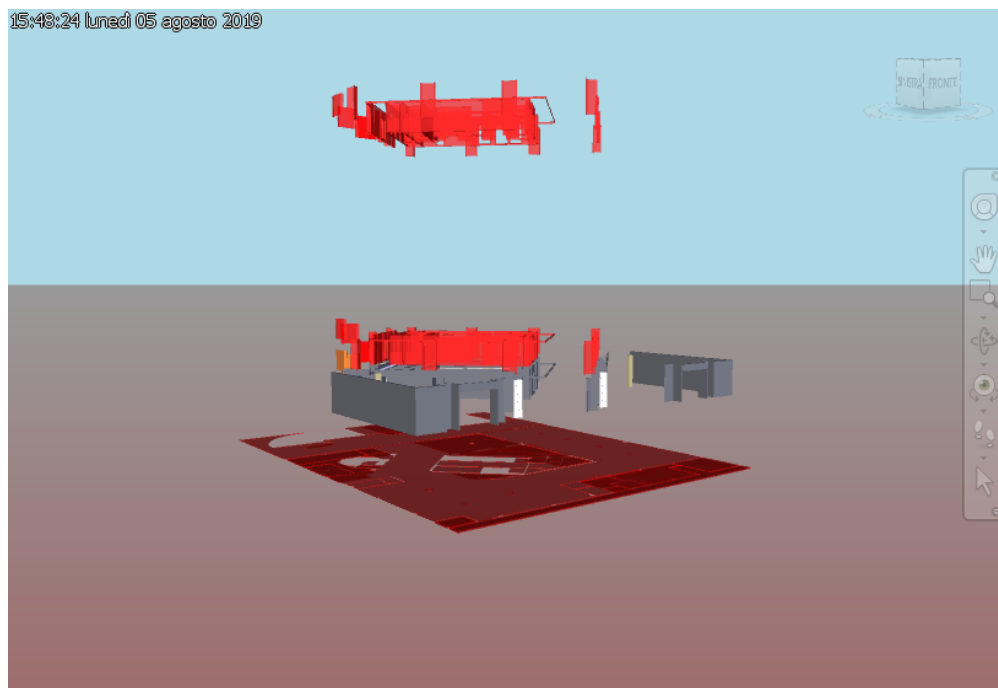


Figura 64: Simulazione 4D - Elevazione Pavimenti S1 ed elevazione Muri P2, P9 (Navisworks)

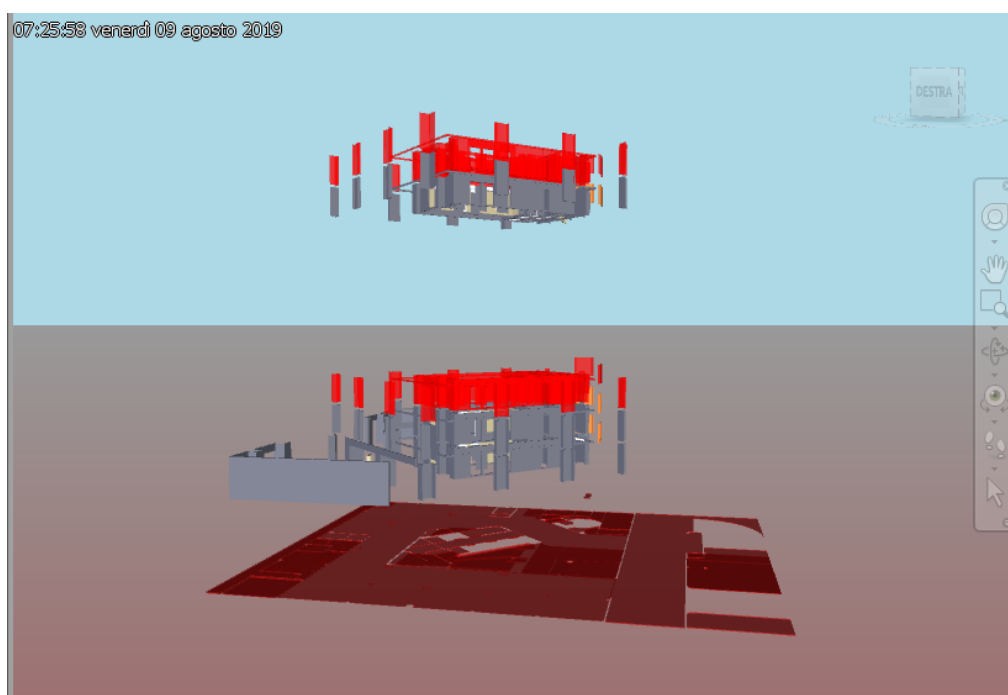


Figura 65: Simulazione 4D - Elevazione muri P3, P10 e montaggio serramenti P9 (Navisworks)

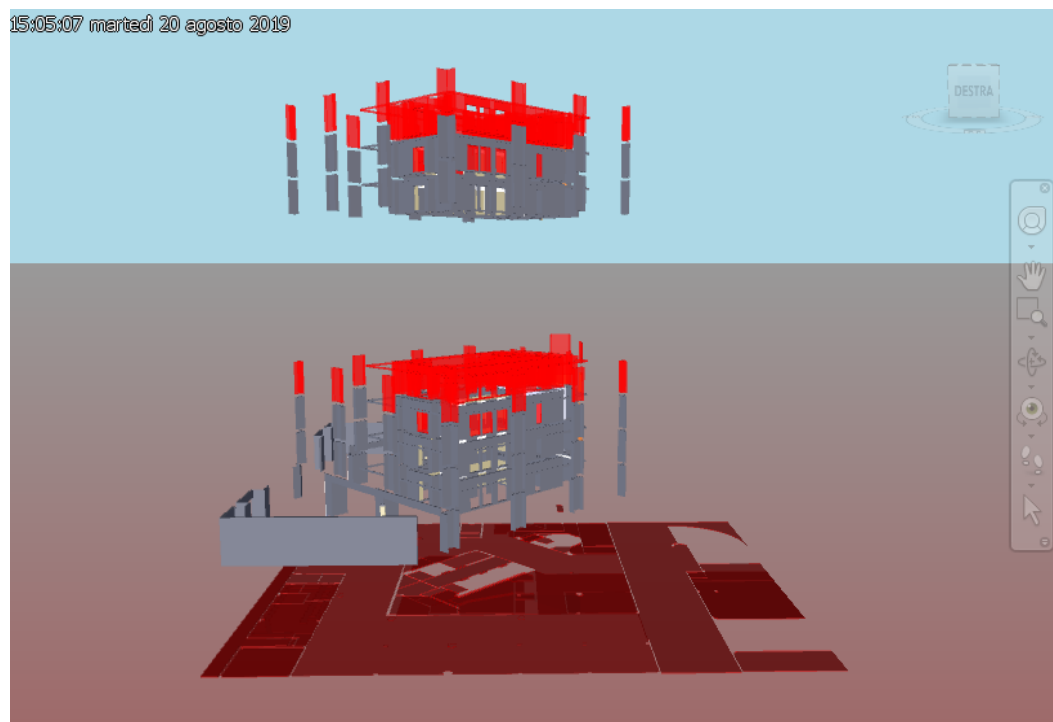


Figura 66: Simulazione 4D - Elevazione muri P4,P11 e montaggio serramenti P3,P10 (Navisworks)

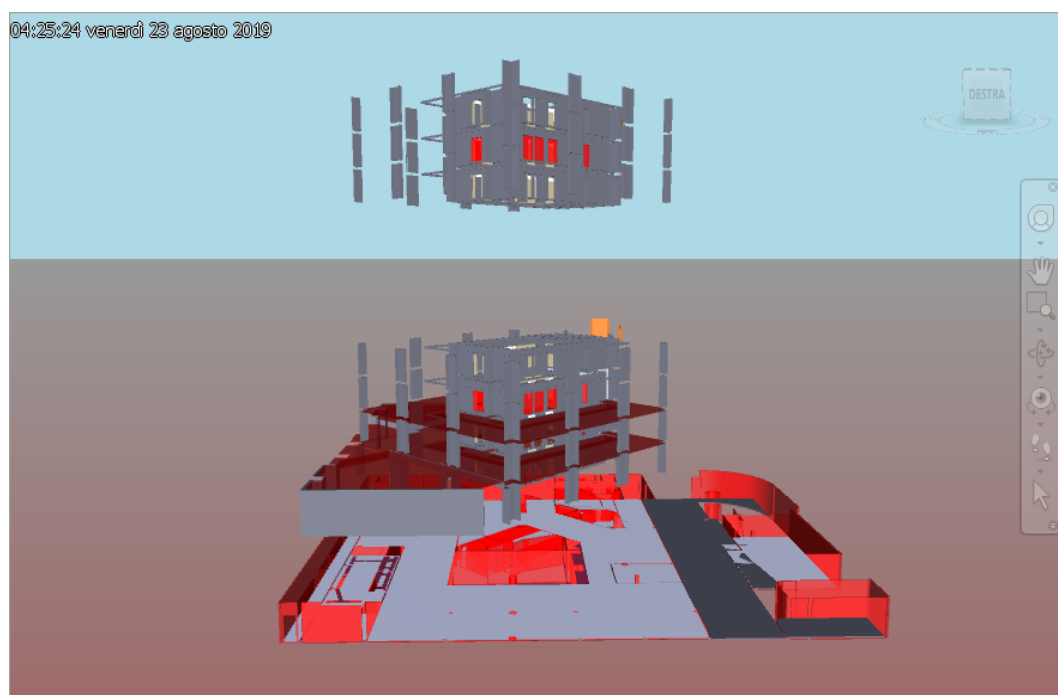


Figura 67: Simulazione 4D – Elevazioni muri S1 e chiusura partizione orizzontale P1,P2 (Navisworks)

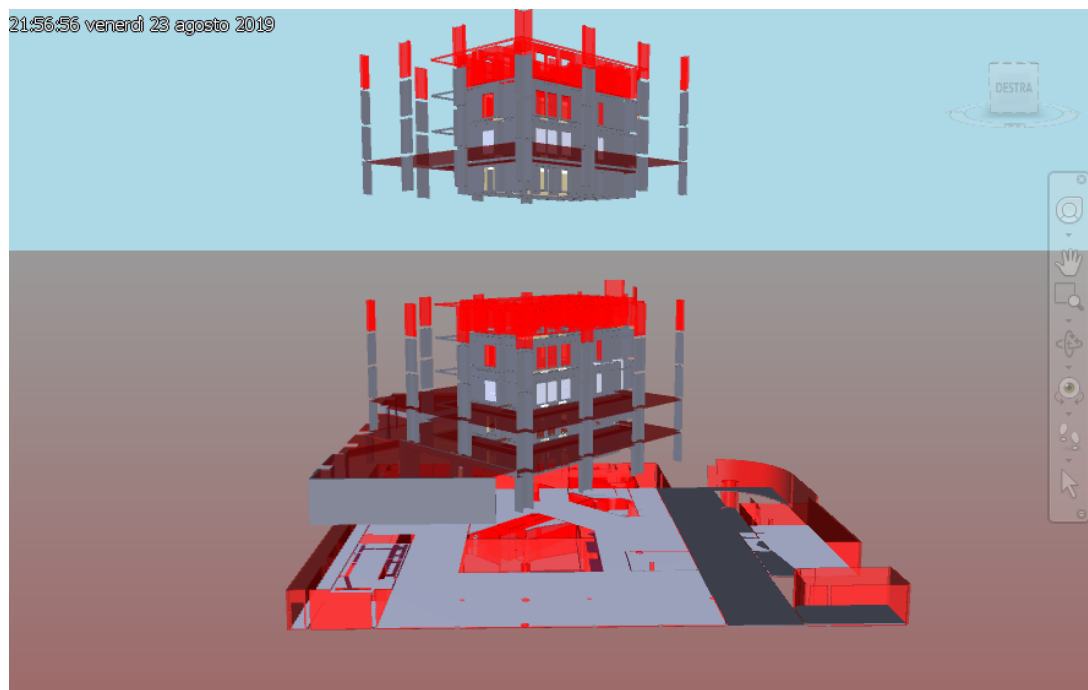


Figura 68: Simulazione 4D – Elevazioni muri P5,P11 e chiusura partizione orizzontale P9 e montaggio serramenti P4,P11 (Navisworks)

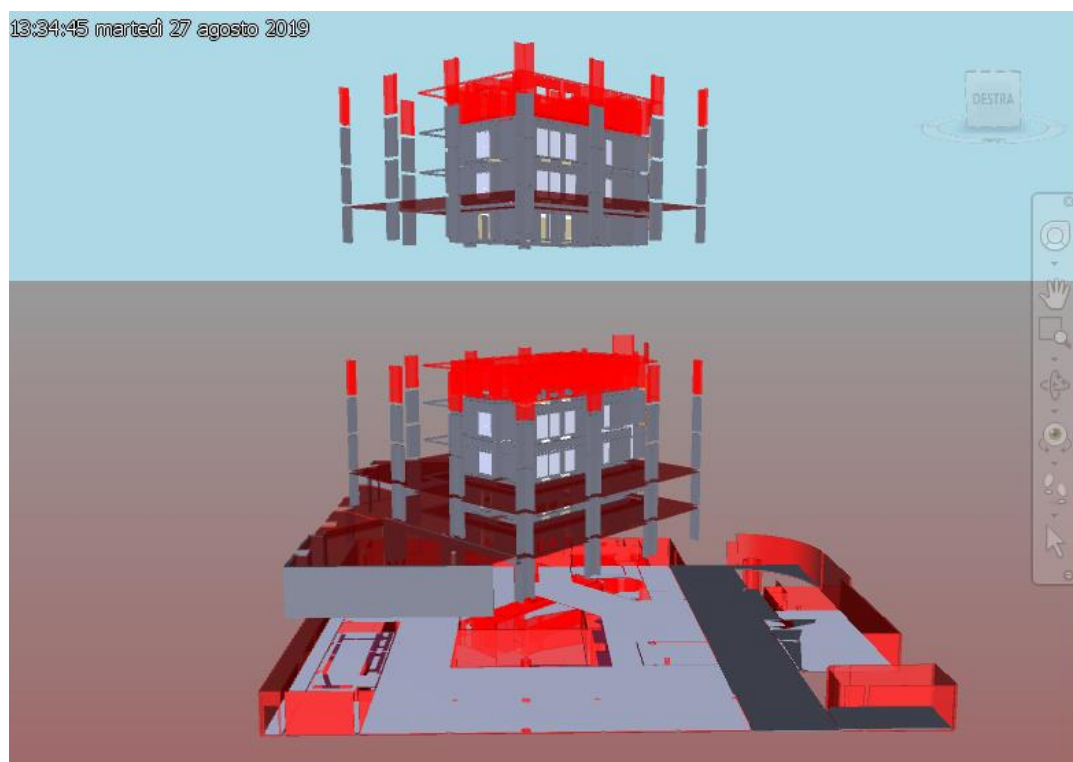


Figura 69: Simulazione 4D – Elevazioni muri P12 (Navisworks)

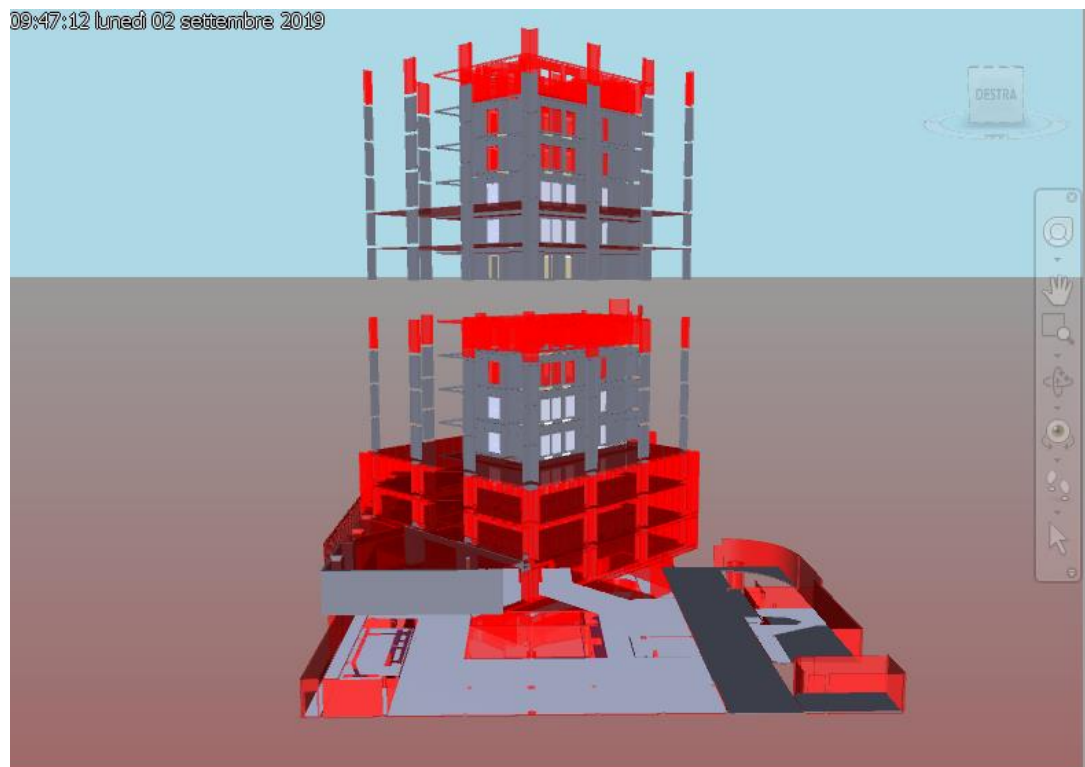


Figura 70: Simulazione 4D – Elevazioni muri P7,P14 e montaggio facciata continua S1,PT,P1 (Navisworks)

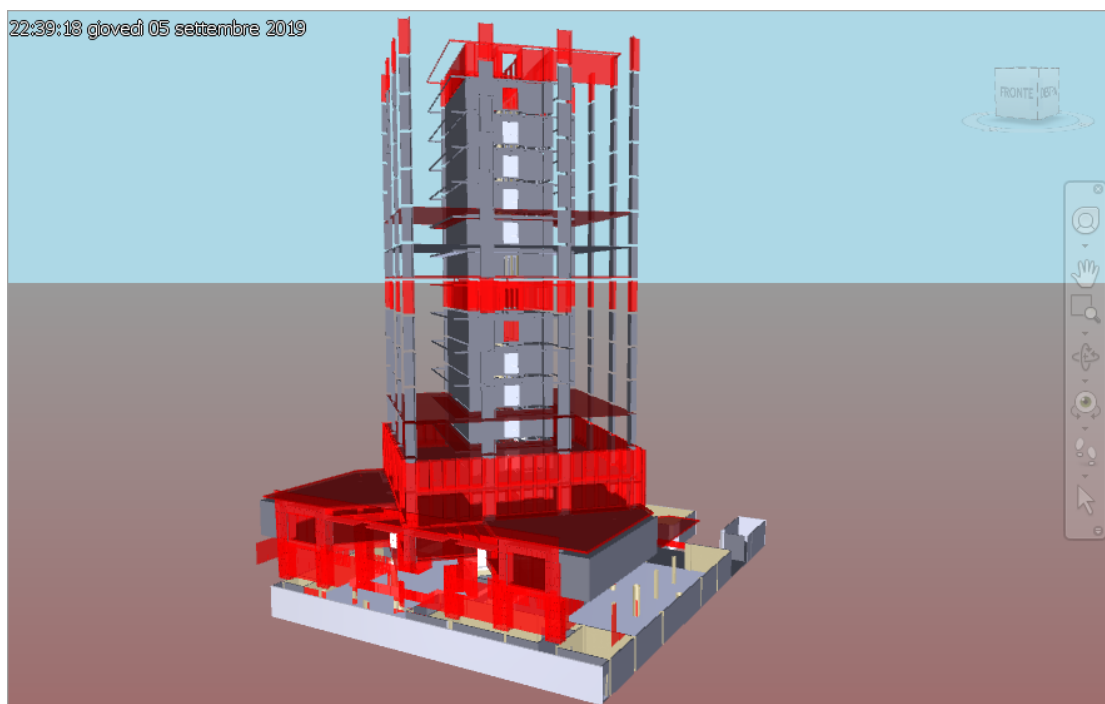


Figura 71: Simulazione 4D – Elevazioni muri P8,P15 e montaggio facciata continua P3 (Navisworks)



Figura 72: Simulazione 4D – Elevazioni muri P17,P18 e montaggio facciata continua P4,P5,P6 (Navisworks)



Figura 73: Simulazione 4D – Montaggio facciata continua P10;P12 e chiusura partizioni orizzontali P15 (Navisworks)

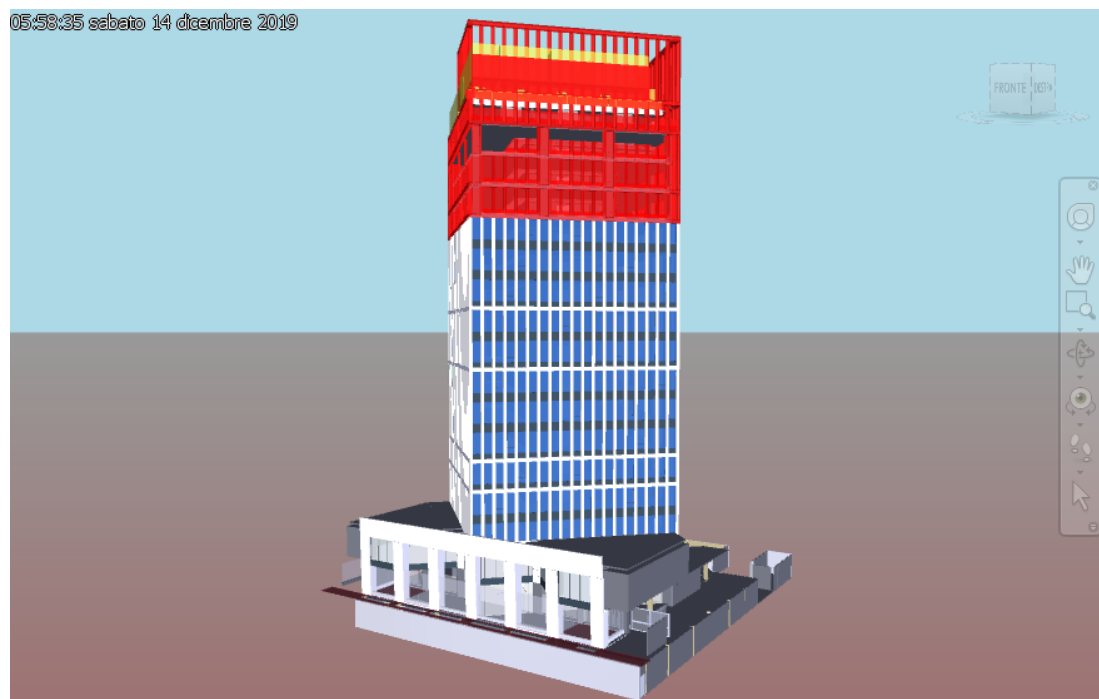


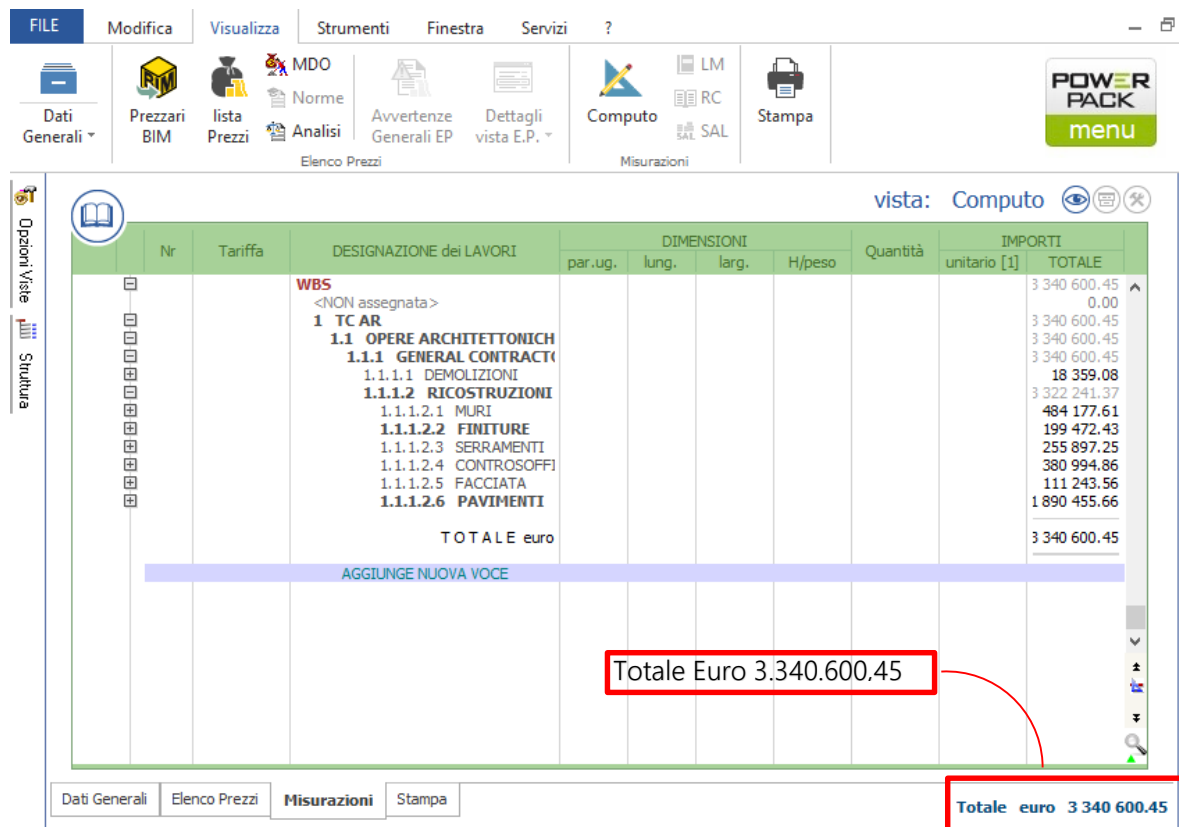
Figura 74: Simulazione 4D – Montaggio facciata continua P13;P18 (Navisworks)



Figura 75: Simulazione 4D – Torre C ultimate (Navisworks)

5. Confronto tra approcci: BIM e tradizionale

Segue il confronto tra i due computi eseguiti, per la Torre Richard, con approccio tradizionale (utilizzato dall'azienda BMS Progetti) ed uno tramite software di computazione ed interoperabilità (oggetto di tesi), confrontando importi ed errori. Viene inoltre illustrato anche il vincolo considerato durante associazione e svolgimento dei computi tramite approccio BIM.



Nr	Tariffa	DESIGNAZIONE dei LAVORI	DIMENSIONI				Quantità	IMPORTI	
			par.ug.	lung.	larg.	H/peso		unitario [1]	TOTALE
		WBS							3 340 600.45
		<NON assegnata>							0.00
		1 TC AR							3 340 600.45
		1.1 OPERE ARCHITETTONICHE							3 340 600.45
		1.1.1 GENERAL CONTRACT							3 340 600.45
		1.1.1.1 DEMOLIZIONI							18 359.08
		1.1.1.2 RICOSTRUZIONI							3 322 241.37
		1.1.1.2.1 MURI							484 177.61
		1.1.1.2.2 FINITURE							199 472.43
		1.1.1.2.3 SERRAMENTI							255 897.25
		1.1.1.2.4 CONTROSOFFI							380 994.86
		1.1.1.2.5 FACCIATA							111 243.56
		1.1.1.2.6 PAVIMENTI							1 890 455.66
		TOTALE euro							3 340 600.45
		AGGIUNGE NUOVA VOCE							

Totale Euro 3.340.600,45

Totale euro 3 340 600.45

Figura 76: Computazione in BIM (Primus)

Articolo	Voce	Indicazione dei Lavori e delle Provviste	U.M.	par.ug.	Sup.	Lung.	Larg.	H/peso	Quantità	Parziale	P.U.	Importo totale
COMPUTO METRICO GENERALE												
PA.CI.052	Lamiera microforata	M11 - Rivestimento Scala Fornitura e posa in opera di pannelli piani in lamiera microforata in acciaio zincato tipo "IMAR" con verniciatura, colore RAL da definire, e dimensioni variabili; completa di telaio di fissaggio tipo "All-Metal Custom" sulla baracatura.	m²						1.451,43	205,00	205,00	
		GEN			1451,43				1.451,43	205,00		
PA.CI.027	Rivestimento pietra tipo basaltina	Rivestimento pietra Fornitura e posa in opera di zoccolature e rivestimento pareti verticali esterne con lastre di pietra naturale a casellario tipo basaltina, compresa la fornitura delle graffe di ancoraggio, la imbottitura con malta di cemento o idoneo collante e la sigillatura dei giunti, tutto a regola d'arte.	m²						273,67	230,00	230,00	
		P0			134,65				134,65	230,00		
		P1			139,02				139,02	230,00		
TOTALE											€	3.572.518

Totale Euro 3.572.518,30

Figura 77: Computazione in Foglio di calcolo (Excel)

N°		Tariffa	DESIGNAZIONE dei LAVORI	DIMENSIONI				Quantità	IMPORTI	
				par.ug.	lung.	larg.	H/peso		unitario [1]	TOTALE
			WBS							
			<NON assegnata>							3 340 600,45
			1 TC AR							0,00
			1.1 OPERE ARCHITETTONICHE							3 340 600,45
			1.1.1 GENERAL CONTRACTOR							3 340 600,45
			1.1.1.1 DEMOLIZIONI							3 340 600,45
			1.1.1.2 RICOSTRUZIONI							18 359,08
			1.1.1.2.1 MURI							3 322 241,37
			Versione Educazionale - "Fornitura e posa in opera di pareti in blocchi cavi di cemento vibrocompressi faccia a vista finitura liscia da ambo i lati, dello spessore di cm 12, ... le assistenze murarie in genere ed ogni altro accessorio ed onere necessari a fornire il lavoro completo in opera."							484 177,61
			MISURAZIONI:							
			Versione Educazionale - Muro di Base: M2 a							
			REI 180 - 9299731		1.51		3.27	4.94		
			Versione Educazionale - Muro di Base: M2 a							
			REI 180 - 8150110		2.51		3.25	8.16		
			Versione Educazionale - Muro di Base: M2 a							
			REI 180 - 8150151		5.12		3.25	16.64		
			Versione Educazionale - Muro di Base: M2 a							
			REI 180 - 9299720		1.20		3.27	3.92		
			Versione Educazionale - Muro di Base: M2 a							
			REI 180 - 8150054		5.23		3.25	17.00		
			SOMMANO m2					50.66	46.85	2 373.42

Figura 78: Computazione in BIM (Primus)

Come si nota, nell'utilizzo del software di computazione, ogni elemento ha un suo codice "ID" di identificazione, riconoscibile con lo stesso anche nel modello. Qualora si avessero dubbi su quanto computato, utilizzando questo approccio, si ha una validazione degli oggetti rapida ed accurata. I computi presentano una differenza di 231.917,85 euro; sono state verificate le quantità dei singoli oggetti BIM e, in effetti in alcune di esse sono state riscontrate diversità dovute a quantità difformi, o per un mancato aggiornamento del computo o per una lettura errata delle stesse. Tale problematica è dovuto molto spesso ad una mancata comunicazione tra i progettisti ed il computista.

Il punto di forza di questo approccio digitale risulta ancora più evidente quando si vuole computare ad esempio le finiture: in BIM infatti a ogni materiale si può associare una o più voci dell'elenco prezzi e computare così in maniera molto dettagliata tutte le finiture, risparmiando tempo rispetto all'approccio tradizionale. Bisogna dire che anche in caso di eventuali modifiche al modello, il computo si aggiorna istantaneamente, al contrario dell'approccio tradizionale in cui bisogna rivalutare come le modifiche si propagano nelle viste correlate, negli oggetti dipendenti, trovare la voce corrispondente e modificare manualmente le dimensioni, predisponendo un nuovo computo metrico estimativo in tempi decisamente più lunghi.

Affinché si vogliano utilizzare tutti i vantaggi legati all'approccio BIM è di fondamentale importanza aumentare il livello di qualità del modello, associare in maniera scrupolosa le singole voci ai diversi software, diminuendo le correzioni e le varianti con conseguente diminuzione dei tempi e costi.

6. Conclusioni

La crisi del mondo delle costruzioni ha portato con sé una fonte di cambiamento che ha visto nel Building Information Modeling una delle sue principali linee guida. Al di fuori del mondo dell'edilizia italiano, questa metodologia è sempre più richiesta nelle gare di appalto pubbliche portando ad adottare una direttiva, a livello europeo, che prevede l'obbligo di utilizzare la metodologia BIM da parte degli stati membri per progetti finanziati con fondi pubblici a partire dal 2016.

L'utilizzo di queste metodologie di lavoro da parte dei vari team che operano contemporaneamente su di un progetto fornisce, nei confronti di tutti gli attori coinvolti nel processo, una visione più chiara dell'insieme e consente, a tutte le figure interessate, di prendere decisioni in maniera più efficace e veloce già dalla fase preliminare del progetto, evitando di commettere errori grossolani. Quest'approccio comporta certamente la necessità di porre una maggiore attenzione, sin dalle prime fasi di progetto, agli obiettivi ed alle esigenze che dovranno essere sviluppate nella fase di esecuzione dell'opera; il maggiore impegno è ampiamente ripagato dall'aumento della qualità del progetto e dalla conseguente diminuzione delle correzioni e delle varianti, comportando un significativo contenimento dei costi.

Il lavoro di tesi svolto ha trattato la tematica delle dimensioni 4D e 5D, nell'ambito del processo edilizio e all'interno del "Building Information Modeling", cercando di creare un processo "ripetibile" per i lavori futuri che vada ad identificare tutti gli oggetti BIM durante le varie fasi progettuali e che sfrutti i concetti e le possibilità dei software BIM-oriented. Lo scopo è stato quello di definire mediante la metodologia 5D, una struttura e delle regole che permettessero un dialogo tra BIM Authoring e prezzari, mantenendo la congruenza delle informazioni, in modo da avere uno strumento di controllo che governi l'associazione di un prezzo con l'elemento corretto. Mediante questo approccio è possibile affrontare un processo con flussi d'informazione più fluidi e meno frammentati, raggiungendo l'obiettivo comune della qualità.

Si sono analizzati nello specifico alcuni degli strumenti informatici, BIM (e non), oggi a disposizione degli operatori del processo edilizio, verificando la possibilità di rendere le informazioni gestite dai singoli software interoperabili. Sulla base di quest'ultima considerazione si sono approfondite tutte le possibili casistiche riscontrabili, si è quindi arrivati ad un processo che si pone l'obiettivo di semplificare la lettura, l'analisi, la gestione e l'attribuzione delle informazioni di ciascun oggetto

all'interno del modello. Tale configurazione è risultata essere una componente fondamentale nell'integrazione delle informazioni nei processi di progettazione.

Si è, infine, applicata la struttura ad un caso reale e mostrato in maniera pratica come l'approccio BIM possa ottimizzare il lavoro di tutti gli attori del processo edilizio, partendo dalla fase decisionale e preliminare, passando dalla fase di esecuzione sino ad arrivare alla gestione dell'organismo edilizio. Le analisi e gli studi effettuati, appena ricapitolati, sono stati fondamentali al fine di analizzare un tema del quale, in Italia, si discute molto ma che risulta essere ancora pieno di discordanze e incomprensioni, sebbene abbia un potenziale elevato, soprattutto a fronte di un processo frammentato e a tratti obsoleto come quello del panorama italiano.

Nell'ottica di un crescente sviluppo del BIM si potrà giungere in un futuro prossimo, ad un notevole miglioramento di tutto il processo necessario nell'ambito delle costruzioni, fornendo strumenti utili ad una più accurata programmazione e ottimizzazione dei tempi e dei costi.

Si è voluto dimostrare, inoltre, tramite l'utilizzo della metodologia 4D, che unisce le caratteristiche degli oggetti tridimensionali con i vincoli temporali di un cronoprogramma lavori (non oggetto di tesi), la possibilità di gestione e di controllo dei vari oggetti modellati. Questo permette al team di progettazione di poter verificare quali oggetti BIM, legati alle corrispondenti attività, siano completati e quali siano ancora da realizzare. Questa metodologia permette inoltre di verificare eventuali ritardi e/o interferenze nei lavori e quali conseguenza comportino sulla gestione delle attività successive.

Tramite l'utilizzo della struttura WBS sviluppata si è individuata una concreta possibilità di ottimizzare l'interoperabilità tra i software maggiormente utilizzati, con lo scopo di mostrare le potenzialità offerte praticamente dalla metodologia BIM per la gestione delle informazioni associate agli oggetti. Questo permette sia la gestione di un progetto in 4D con un notevole numero di attività ed informazioni ad esse associate, sia un controllo molto approfondito del lavoro svolto, sia, infine, la possibilità di gestione della futura fase realizzativa.

In questo modo partendo dalla metaprogettazione, seppur mantenendo i propri processi mentali e le logiche interdisciplinari, è possibile raggiungere l'obiettivo comune della qualità del processo. Quest'approccio funzionerà solo se, all'interno dei processi preliminari e di quelli successivi, il Management prevarrà sul Modeling e di conseguenza l'informazione sulla geometria. Un passaggio graduale e una presa di consapevolezza che deve avvenire all'interno dell'industria delle costruzioni ora più che mai.

BIBLIOGRAFIA

1. **Giuseppe Martino Di Giuda, Valentina Villa, Chuck Eastman, Paul Teicholz, Rafael Sacks, Kathleen Liston.** *"IL BIM: Guida completa al Building Information Modeling"*. HOEPLI, 2016
2. **Rocco Amato, Roberto Chiappi.** *"Tecniche di Project Management. Pianificazione e controllo dei progetti."* Franco Angeli, 2009
3. **Arie Gottfried.** *"Ergotecnica Edile. Progettazione e programmazione operativa ed economica. Direzione dei lavori, contabilità e collaudi. Scelta delle macchine."* HOEPLI, 2013
4. **Giuseppe Martino Di Giuda, Paolo Ettore Giana, Marco Schievano, Francesco Paleari, Elena Seghezzi.** *"Introduzione al BIM. Protocolli di modellazione e gestione informativa"*. Esculapio, 2019
5. **Alberto Pavan, Claudio Mirarchi, Matteo Giani.** *"BIM: metodi e strumenti. Progettare, costruire e gestire nell'era digitale"*. Tecniche Nuove, 2017
6. **Zacchei, Valeria.** *"Building Information Modeling, nuove tecnologie per l'evoluzione della progettazione-costruzione"*. ARACNE editrice S.r.l., 2010.
7. **Trani Marco Lorenzo.** *"Cantieri edili e civili. Progetto, organizzazione, gestione"*. Maggioli Editore, 2012
8. **Gianni Utica.** *"La stima sintetica del costo di costruzione. Il computo metrico e il computo metrico estimativo per classi di elementi tecnici"*. Maggioli Editore, 2011

SITOGRAFIA

https://www.edilportale.com/news/2018/02/focus/il-futuro-dell-edilizia-passaperilbim_62317_67.html

<http://www.bis-lab.eu/2017/02/28/bim-building-information-modeling-i-principi-di-una-rivoluzione/>

https://bimforum.org/wp-content/uploads/2017/11/LOD-Spec-2017-Guide_2017-11-06-1.pdf

<https://www.ingenio-web.it/18926-i-loi-nelle-scale-di-lod-usa-uk-ita>

<http://bim.acca.it/uni-en-iso-19650-2019-pubblicate-in-italiano-le-norme-internazionali-sul-bim/>

RIFERIMENTI NORMATIVI

1. **Norma UNI 8290-1:1981.** *"Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Classificazione e terminologia"*
2. **Norma UNI 11337:2017.** *"Edilizia e opere di ingegneria civile - Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni - Parte 4: Evoluzione e sviluppo informativo di modelli, elaborati e oggetti"*
3. **Norma UNI 11337:2009.** *"Edilizia e opere di ingegneria civile - Criteri di codificazione di opere e prodotti da costruzione, attività e risorse - Identificazione, descrizione e interoperabilità"*
4. **Norma ISO 16739:2013.** *"Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries"*
5. **PAS 1192-2:2013.** *"Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling (BSI)".* London, United Kingdom, 2013.
6. **UNI EN ISO 19650:2019.** *"Organizzazione e digitalizzazione delle informazioni relative all'edilizia e alle opere di ingegneria civile, incluso il Building Information Modelling (BIM) – Gestione informativa mediante il Building Information Modelling – Parte 1: Concetti e principi – Parte 2: Fase di consegna dei cespiti immobili"*